



HAL
open science

L'ergonomie co-concepteur : quelle contribution à l'analyse des besoins à la conception de systèmes informatiques industriels?

Stanislas Couix

► To cite this version:

Stanislas Couix. L'ergonomie co-concepteur : quelle contribution à l'analyse des besoins à la conception de systèmes informatiques industriels?. Autre. Conservatoire national des arts et metiers - CNAM, 2012. Français. NNT : 2012CNAM0803 . tel-00726245

HAL Id: tel-00726245

<https://theses.hal.science/tel-00726245>

Submitted on 29 Aug 2012

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

École Doctorale du Conservatoire National des Arts et Métiers

Centre de Recherche sur le Travail et le Développement

THÈSE DE DOCTORAT

présentée par : Stanislas COUX

soutenue le : 6 Février 2012

pour obtenir le grade de : Docteur du Conservatoire National des Arts et Métiers

Discipline / Spécialité : Ergonomie

L'ERGONOME CO-CONCEPTEUR : QUELLE CONTRIBUTION À L'ANALYSE DES BESOINS DANS LA CONCEPTION DE SYSTÈMES INFORMATIQUES INDUSTRIELS ?

THÈSE DIRIGÉE PAR

M^{me}. DARSES Françoise

Professeure, IRBA

RAPPORTEURS

M. BURKHARDT Jean-Marie

Directeur de Recherche, IFFSTAR

M. ROBERT Jean-Marc

Professeur, École Polytechnique de Montréal

EXAMINATEURS

M^{me}. DE-LA-GARZA Cecilia

Ingénieure-Chercheuse HDR, EDF R&D (Encadrante)

M. FALZON Pierre

Professeur, CNAM

M. YANNOU Bernard

Professeur, École Centrale Paris

*À ma famille,
à mes amis.*

Remerciements

Tout d'abord, je remercie Françoise Darses et Cecilia De-La-Garza d'avoir encadré ce travail. Sans elles, sans leurs encouragements, leur confiance, leurs conseils, nos débats, leurs corrections et l'autonomie qu'elles m'ont donné, ce travail n'aurait pu voir le jour et n'aurait pu se terminer dans de bonnes conditions. Ces quatre années passées à travailler ensemble ont été riches d'enseignements, tant sur le plan professionnel que personnel.

Merci aux membres du jury, Jean-Marie Burkhardt, Pierre Falzon, Jean-Marc Robert et Bernard Yannou pour l'intérêt qu'ils ont accordé à mes travaux.

Je tiens également à remercier tout spécialement Patrick Lainé, chef du groupe Facteurs Humains, et Philippe Klein, chef du département Management des Risques Industriels d'EDF R&D, pour leur accueil, leur écoute, les moyens qu'ils ont mis à ma disposition, leurs conseils avisés et leurs encouragements. Merci aussi à Pierre Falzon de m'avoir accueilli au sein du Centre de Recherche sur le Travail et le Développement du CNAM, de m'avoir intégré à l'équipe d'ergonomie et de m'avoir fourni les ressources nécessaires pour réaliser mes recherches.

Plus largement, je remercie chaleureusement l'ensemble des ingénieurs et chercheurs du département Management des Risques Industriels d'EDF R&D et l'ensemble du personnel, des enseignants-chercheurs et des doctorants de l'équipe d'ergonomie du CRTD pour les bons moments passés ensemble, que ce soit autour d'un café, d'un repas ou d'un verre. Yves, Louis, Bastien, Jean-Paul, Sandrine, Zoé, Brigitte, Olivier, Violaine, David, François, Geoffroy, Philippe, Charles, Nicolas, Jean-Claude, Virginie, Denise (qui sait contourner les barrières administratives comme personne!), Céline, Flore, Adelaïde, Hakim, Bernard, Hortense, Sylvie, Jacques, Michel, Vanina, Lucie, Julien, Cécile, Duarte, merci pour votre temps, votre écoute, nos discussions passionnées, votre bonne humeur, vos conseils, mais surtout pour avoir fait relativiser et rire quand j'en avais bien besoin.

Merci aussi à tous les membres du Réseau des Jeunes Chercheurs en Ergonomie, du bureau et du conseil d'administration, et tout spécialement Vincent, avec qui j'ai partagé la présidence de l'association et bien d'autres choses. Les discussions enflammées, les débats et le soutien que vous m'avez apporté m'ont été précieux pendant toutes ces années... sans oublier les troisièmes mi-temps et la bièrologie ;-)

Un grand merci à toute l'équipe du projet APTS : Yves, Aurore, Baligh et David, ainsi qu'à Yvon Guyot et à l'ensemble des utilisateurs du groupe de travail des opérateurs de la conduite d'avoir accepté de participer à mes recherches. Votre soutien et votre engagement ont rendu ce travail possible.

Je remercie tous les auditeurs du CNAM ayant assisté au cours sur les méthodes ergonomiques de conception de systèmes informatiques qui, par leurs questions et leurs remarques, m'ont fait progresser dans la formalisation des concepts utilisés dans mes travaux.

Merci à Kissing Balloon – Caro, Julien, Mathieu et Matthieu – pour cet exutoire formidable que fût et qu'est encore de jouer dans ce groupe.

Un IMMENSE merci à ma mère, mes frères, et l'ensemble de mes amis – bien trop nombreux pour être tous cités ici – d'avoir accepté mes humeurs, mes états d'âme (!),

mes absences et de m'avoir soutenu, réconforté et d'avoir fait preuve de patience avec moi. Plus spécialement, un énorme merci à Frizzouille, Flo, Papa & Maman Ours, le deux Carottes, Mat « huhu » Allemand, Doudou, Guiguinns, Maura, Sophie, Patoche (le fidèle rouxdy), le Schleu, Sonia et Guillaume (et ses desserts fantastiques...). I love you my fwwrrrrriends ;-)

Merci à Aude pour son soutien, son réconfort, et pour avoir partagé ma vie dans des moments difficiles et incertains pendant mon master et ma thèse.

Enfin, merci à petite raccoonette, Marion, de me supporter tous les jours (ou presque). La tâche n'est pas aisée, mais tu t'en sors avec brio ;-). Merci d'avoir été et d'être là. Ta bonne humeur, ton humour et ton énergie m'ont été précieux pour mener à bien mes recherches et m'en évader quand il le fallait.

Résumé

Un des buts de l'ergonomie est de participer à la conception des systèmes humain-machine. Il est largement reconnu que la contribution de l'ergonomie doit intervenir le plus tôt possible dans le processus de conception, depuis la découverte des besoins des utilisateurs jusqu'à la définition des exigences et des spécifications de conception, c'est-à-dire dès l'analyse des besoins.

L'objectif de la thèse est d'analyser notre propre participation, en tant qu'ergonome co-concepteur, à l'analyse des besoins d'un projet de conception d'EDF R&D concernant un nouveau système informatique pour le pilotage de réacteurs nucléaires. Au cours de celui-ci, nous avons collaboré avec les ingénieurs du projet et les futurs utilisateurs dans la définition des différents aspects du système (fonctionnel, organisationnel, opérationnel, interaction et physique) à travers la formulation d'exigences et de spécifications. Cette collaboration s'est cristallisée à travers la rédaction du cahier des charges final.

Outre l'observation de notre intervention dans le projet, trois études empiriques ont été menées. Dans chacune d'elles, notre rôle spécifique à différentes étapes de l'analyse des besoins est analysé par rapport aux rôles des ingénieurs et des utilisateurs. La première étude détaille notre contribution à l'identification et à la formalisation des exigences. La seconde étude analyse notre concours à la rédaction des spécifications. Enfin, la troisième étude met en lumière notre participation à l'évolution de la première version des exigences et des spécifications jusqu'à leur version définitive.

L'ensemble de ces travaux indique plusieurs résultats importants. Premièrement, l'ergonome co-concepteur ne doit pas se limiter à ce statut pour agir globalement sur la situation de travail. Deuxièmement, contrairement à ce qu'indique la littérature, les étapes de l'analyse ergonomique des besoins sont plutôt réalisées en parallèle que de manière séquentielle. Troisièmement, l'ergonome va privilégier des contacts différents selon les phases de l'intervention. Il sera plutôt en contact avec les futurs utilisateurs lors de l'identification des besoins et surtout en lien avec l'équipe de conception lors des phases de spécification. Cependant, dans ces phases ultérieures, les séances de travail avec les utilisateurs font plus évoluer le système que les autres séances de travail. Quatrièmement, les études montrent que les différents acteurs impliqués ont un domaine d'expertise spécifique, mais complémentaire, aussi bien pour définir les exigences que les spécifications. Par exemple, dans la définition des spécifications, l'ergonome va formuler les éléments du système accessibles à l'utilisateur alors que les ingénieurs vont spécifier les éléments techniques nécessaires au fonctionnement, mais inaccessibles aux utilisateurs. Enfin, les résultats indiquent que l'ergonome ne s'appuie pas uniquement sur les éléments recueillis lors des analyses de terrain pour produire des exigences et des spécifications. Les analyses de terrain ont surtout été utilisées pour justifier les aspects fonctionnels, organisationnels et opérationnels du système. A contrario, les spécifications de l'interface du système proviennent plutôt de son expertise.

Enfin, nous proposons une méthode ergonomique d'analyse des besoins. Par rapport aux méthodes actuelles, celle-ci met davantage l'accent sur les aspects collectifs de ce type d'intervention et détaille les apports de l'ergonome à la définition des différentes dimensions d'un système.

Mots clés : analyse des besoins, ergonomie, co-conception, systèmes informatiques

Abstract

One of the goals of ergonomics is to contribute to the design of man-machine systems. It is widely recognized that the involvement of ergonomics must take place as early as possible in the design process, starting with the discovery of user needs, up to the definition of design requirements and specifications – i.e. from user needs analysis onwards.

The thesis aims to analyze our own participation, as an ergonomist and a co-designer, to user needs analysis in a design project at the EDF R&D department. The project dealt with a new computer system to operate nuclear reactors. During this work, we collaborated with engineers from the project and with future users, to define various aspects of the system (functional, organizational, operational, interaction-based, and physical) by formulating requirements and specifications. This collaboration materialized in the final specifications.

In addition to observing our own involvement in the project, we carried out three empirical studies. In each of the studies, our specific role in various stages of needs analysis was analyzed, in contrast to the roles of engineers and end users. The first study describes our contribution to identifying and formalizing user requirements. The second study analyses our role in writing the system specifications. Finally, the third study highlights our participation to the evolutions of the first version of requirements and specifications, towards their final version.

This work has led to several important results. First, ergonomist as a co-designer should not restrict his participation to this status, and should instead act globally on the work situation. Second, in contrast to claims in the literature, the stages of ergonomic needs analysis are carried out simultaneously rather than sequentially. Third, ergonomists tend to favor different kinds of contact depending on the stage of the design process. They are more often in contact with end users during user needs identification and more often in contact with the design team during the stage of system specification. However, in these later stages, work sessions with end users allow the system to evolve more than in other types of work sessions. Fourth, the studies show that the various stakeholders involved each have a specific field of expertise. These fields of expertise complement the expertise of ergonomics, both when defining requirements and when defining system specifications. For example, when defining specifications, ergonomists formulate the set of system elements which are accessible to users, whereas engineers specify the set of technical elements which are necessary to system operation, which are inaccessible to users. Finally, our results show that the ergonomist does not rely solely on elements gathered in field investigations to produce requirements and specifications. Field analyses are most often used to tackle the functional, organizational, and operational aspects of the system, whereas defining the elements of the system interface relies more on the ergonomist's own expertise.

Finally, we propose an ergonomic method for user needs analysis. Compared with current methods, our method highlights the collective aspects of such interventions, and specifies the contributions of ergonomics to defining the various dimensions of a system.

Keywords : needs analysis, ergonomics, collaborative design, computer systems

Sommaire

Résumé	i
Abstract	ii
Introduction	1
1 Contexte industriel	3
1.1 Implication croissante de l’ergonomie en conception	3
1.2 La demande du département « Management des Risques Industriels » d’EDF R&D	4
1.3 Notre intervention dans le projet APTS	4
1.3.1 Objectifs et enjeux du projet APTS	5
1.3.2 Notre tâche dans APTS	6
1.3.3 Un environnement de travail favorable à l’ergonomie	7
2 Enjeu : renforcer l’intégration de l’ergonomie lors de l’analyse des be- soins	8
2.1 Aider les chefs de projets à faire appel à des ergonomes	8
2.2 Développer les connaissances sur l’action ergonomique en analyse des besoins	9
2.2.1 L’ergonomie est mal positionnée dans le processus d’analyse des besoins	9
2.2.2 Les besoins, centraux en ergonomie, sont peu formalisés	10
3 Cadre théorique	11
3.1 Les besoins et les attentes envers le futur artefact	11
3.1.1 Disciplines concernées par l’analyse des besoins	11
3.1.1.1 L’ingénierie de la conception de produit	12
3.1.1.2 L’ingénierie système	12
3.1.1.3 L’ergonomie	12
3.1.2 Les besoins : le point de départ de la conception	13

3.1.2.1	Les besoins vus par l'ingénierie de la conception de produit	13
3.1.2.2	Les besoins dans l'ingénierie des systèmes et l'ingénierie des exigences	14
3.1.2.3	Les besoins vus par l'ergonomie	15
3.1.3	Description des propriétés, caractéristiques et fonctions attendues de l'artefact	17
3.1.3.1	En conception de produits : les fonctions de service et les fonctions contraintes	17
3.1.3.2	En ingénierie système : les exigences	19
3.1.3.3	En ergonomie : les exigences et les prescriptions faibles	21
3.2	Les spécifications de conception	23
3.2.1	Les spécifications en ingénierie	23
3.2.2	Les spécifications en ergonomie	25
3.3	Vers un cadre conceptuel pour l'analyse des besoins	28
3.3.1	Synthèse des différences et similitudes entre les termes utilisés en analyse des besoins	28
3.3.2	Des besoins aux exigences et jusqu'aux spécifications	29
3.3.3	Répartition des rôles entre les acteurs de la conception dans le processus d'analyse des besoins	32
3.4	Formes de participation de l'ergonomie à l'analyse des besoins	33
3.4.1	L'approche Human Factors	33
3.4.2	L'assistance à la maîtrise d'ouvrage	34
3.4.3	Co-concevoir le système	37
3.5	L'analyse des besoins, un processus de conception collective pluridisciplinaire	41
3.5.1	L'analyse des besoins, une activité itérative de résolution de problèmes de conception	41
3.5.2	L'alternance des séances individuelles et collectives de travail comme moteur de la conception	42
3.5.3	L'ergonome, un concepteur comme les autres, avec un point de vue différent	43
3.5.4	Articuler les points de vue de l'ergonome et des autres acteurs de la conception	44
4	Processus de rédaction du cahier des charges du projet APTS	46
4.1	Le cahier des charges, élément clé de la conception	46
4.1.1	Contenu du cahier des charges	47
4.1.2	Le cahier des charges, résultat d'un travail individuel et collectif	49
4.1.3	Une construction itérative	52

4.2	Ergonome, ingénieurs, utilisateurs et prestataires dans la production du cahier des charges	53
4.2.1	Des « cercles » d'acteurs de la conception	53
4.2.2	L'équipe de conception et son évolution au cours du projet	54
5	Observation de notre participation à la construction du cahier des charges	56
5.1	Notre position de chercheur dans le projet APTS	56
5.1.1	L'observation participante	57
5.1.2	Qualifier notre participation	58
5.1.3	Faiblesses de l'observation participante	59
5.1.4	Atouts de l'observation participante	60
5.2	Notre activité en temps qu'ergonome dans le projet APTS	61
5.2.1	Les phases de notre intervention	61
5.2.2	Recueillir les données nécessaires à la compréhension des besoins des utilisateurs finaux	61
5.2.2.1	Se familiariser avec le terrain, un préalable indispensable	62
5.2.2.2	Triangler les méthodes de recueil de données pour accéder aux besoins	62
5.2.2.3	Valider nos résultats de terrain auprès d'un groupe d'opérateurs	65
5.2.3	Formuler les exigences et les spécifications contenues dans le cahier des charges	65
5.3	Discussion sur notre implication au projet APTS en tant qu'ergonome	67
5.3.1	Écart par rapport au contrat initial et à la littérature	68
5.3.2	La nécessaire construction sociale de l'intervention	69
5.3.2.1	Importance de la dimension sociale de l'intervention ergonomique	70
5.3.2.2	La construction sociale dans le recueil des données	70
5.3.2.3	La construction sociale dans la formulation des exigences et des spécifications	71
5.3.2.4	Conclusion	72
6	Problématique	73
6.1	Quelle contribution de l'ergonome à la formulation des exigences?	73
6.2	Quelle contribution de l'ergonome à la formulation des spécifications?	74

6.3	Quelle contribution de l'ergonome à l'évolution itérative du cahier des charges?	75
6.4	Objectifs, méthodes et résultats attendus : tableau de synthèse	76
7	Analyse des exigences contenues dans le cahier des charges	77
7.1	Objectifs	77
7.2	Méthode	78
7.2.1	Recueil de données	78
7.2.2	Traitement des données	79
7.3	Résultats	82
7.3.1	Description univariée des exigences	82
7.3.1.1	L'ergonome est le principal fournisseur d'exigences	82
7.3.1.2	Les exigences sont surtout issues des contraintes de la situation et de dires d'expert	83
7.3.1.3	Peu d'exigences orientent la solution de manière globale	83
7.3.1.4	Une prédominance des exigences fonctionnelles	84
7.3.2	Analyse des liens entre variables	84
7.3.2.1	L'ergonome a une position intermédiaire entre les ingénieurs et les utilisateurs	85
7.3.2.2	L'ergonome définit surtout les exigences fonctionnelles et d'interaction	86
7.3.2.3	Les utilisateurs et l'ergonome déterminent les grandes orientations fonctionnelles et celles relatives à l'usage	87
7.3.2.4	La plupart des exigences circonscrites sont identifiées par l'ergonome	88
7.3.2.5	L'ergonome justifie principalement ses exigences par des informations récoltées sur le terrain	89
7.3.2.6	Selon leurs dimensions, l'ergonome justifie différemment ses exigences	91
7.4	Synthèse et conclusion	92
7.4.1	Ergonomes, ingénieurs et utilisateurs sont complémentaires dans la définition des exigences	92
7.4.2	L'analyse de l'activité et les connaissances disciplinaires de l'ergonome se complètent	93
7.5	Limite	94
8	Analyse des spécifications du cahier des charges	95
8.1	Objectifs	95

8.2	Méthode	96
8.2.1	Recueil des données	97
8.2.2	Traitement des données obtenues	97
8.3	Résultats	100
8.3.1	Les rôles des acteurs sur l'ensemble des spécifications	100
8.3.1.1	Les ingénieurs ont produit la plupart des spécifications	100
8.3.1.2	La majorité des spécifications sont fonctionnelles	101
8.3.1.3	L'ergonome définit davantage l'interface que les spécifications fonctionnelles	101
8.3.1.4	Les spécifications de l'ergonome sont davantage justifiées par son expertise propre	102
8.3.2	Les rôles des acteurs dans la production des spécifications fonctionnelles	103
8.3.2.1	Analyses quantitatives des ÉLÉMENTS FONCTIONNELS en fonction de leur SOURCE	103
8.3.2.2	Analyse qualitative de la contribution des acteurs à la définition des éléments fonctionnels	105
8.3.3	Comparaisons entre exigences et spécifications	106
8.3.3.1	Dimensions du système décrites dans les exigences et les spécifications	106
8.3.3.2	Les acteurs n'agissent pas au même niveau de définition de la solution	107
8.3.3.3	Justification des exigences et des spécifications de l'ergonome	107
8.4	Synthèse et conclusion	108
8.4.1	Rôles des acteurs dans la formulation des spécifications	108
8.4.2	Évolution des rôles entre la formulation des exigences et celle des spécifications	110
8.4.3	L'ergonome justifie différemment les exigences et les spécifications	111
8.5	Limites	112
9	L'ergonome dans l'évolution du cahier des charges	113
9.1	Objectifs	113
9.2	Méthode	115
9.2.1	Recueil de données	115
9.2.2	Traitement des données	117
9.3	Résultats	120

9.3.1	Description univariée des évolutions acceptées	120
9.3.1.1	La plupart des évolutions proviennent de l'ergonome . . .	120
9.3.1.2	Le système est largement complété, amendé et modifié après sa première version	121
9.3.1.3	Le cahier des charges évolue surtout lors de séances de travail avec les opérateurs	121
9.3.1.4	Des évolutions « par paquets » plutôt que continues . . .	123
9.3.1.5	Les évolutions concernent surtout l'interface et les aspects fonctionnels du système	124
9.3.1.6	L'utilisabilité et l'utilité sont les principaux critères pour faire évoluer le cahier des charges	124
9.3.1.7	Les évolutions portent surtout sur les spécifications . . .	125
9.3.2	Analyse bivariée des évolutions acceptées	125
9.3.2.1	Selon le type de point d'évolution, la source des évolutions est différente	125
9.3.2.2	Selon la source, les critères employés pour justifier les évolutions sont différents	126
9.3.2.3	Ergonome et ingénieurs complètent le cahier des charges, les utilisateurs suppriment des éléments	127
9.3.2.4	L'ergonome contribue de manière importante à l'évolu- tion de toutes les dimensions du système envisagé	128
9.3.2.5	Ingénieurs et ergonome font plutôt évoluer les spécifica- tions, les utilisateurs surtout les exigences	129
9.3.2.6	Des critères différents selon que les acteurs ajoutent, mo- difient ou suppriment des éléments du cahier des charges	129
9.3.2.7	Des critères différents pour justifier les évolutions selon la dimension du système	130
9.3.2.8	Selon le type de point d'évolution, les acteurs n'agissent pas de la même manière sur la description du système . .	131
9.3.2.9	Les exigences sont davantage complétées, les spécifica- tions plutôt modifiées	132
9.3.3	Description univariée des demandes d'évolutions refusées	133
9.3.3.1	Les évolutions refusées proviennent moins de l'ergonome que des autres acteurs	133
9.3.3.2	Un nombre plus élevé de demandes rejetées lors des réunions avec les utilisateurs et entre les concepteurs	133
9.3.3.3	Seuls l'ergonome et les ingénieurs refusent des évolutions	134

9.3.3.4	Les évolutions sont surtout refusées sur des critères techniques et d'utilisabilité	135
9.3.3.5	Les évolutions refusées concernent surtout l'interface et les aspects fonctionnels du système	135
9.3.4	Analyse multivariée des propositions d'évolution refusées	136
9.3.4.1	Analyse des liens entre toutes les variables	136
9.3.4.2	Analyse des liens entre les variables source, critère, évaluateur et dimension	138
9.4	Synthèse et conclusion	141
9.4.1	Ingénieurs, utilisateurs et ergonome ont un domaine d'expertise spécifique et relatif à des dimensions particulières	141
9.4.2	L'alternance entre contributions des utilisateurs et des co-concepteurs comme moteur de l'évolution du système	142
9.4.3	Rôles des acteurs dans l'évolution du cahier des charges	143
9.5	Limites	144
10	Conclusion et perspectives	145
10.1	L'ergonome co-concepteur, intermédiaire entre les utilisateurs et les ingénieurs	145
10.2	Sources de connaissances utilisées par l'ergonome	147
10.3	L'alternance des contributions et l'articulation des points de vue dans l'évolution du système	148
10.4	Avantages et limites de la position de co-concepteur	149
10.4.1	Limites du statut d'ergonome co-concepteur	149
10.4.2	Avantage du statut d'ergonome co-concepteur	150
10.5	Vers une méthode d'intervention ergonomique de co-conception	152
10.5.1	Conditions de la participation d'un ergonome co-concepteur à l'analyse des besoins	152
10.5.2	Éléments de l'activité individuelle et collective de l'ergonome co-concepteur dans le processus d'analyse des besoins	153
10.6	Perspectives	155
	Bibliographie	156
	ANNEXES	165
	Annexe A : Une formation et des expériences déterminantes pour notre participation au projet	166
	Annexe B : Le transitoire sensible de montée en puissance après rechargement .	167
B.1	Les transitoires sensibles	167
B.2	La montée en puissance après rechargement	167

Annexe C : Analyse du retour d'expérience	170
C.1 Objectifs et éléments de méthode	170
C.2 Principaux résultats	170
Annexe D : Analyse du travail des opérateurs de la conduite	172
D.1 Objectif	172
D.2 Principaux résultats	172
D.2.1 L'activité de pilotage	172
D.2.2 Répartition des tâches entre les opérateurs	174
D.2.3 Besoins identifiés	175
D.3 Principales conclusions	175
Annexe E : Validation des besoins identifiés	177
Annexe F : Exemple de maquette d'interface	178
Annexe G : Source des évolutions selon la date	179
Annexe H : Nombre brut d'évolutions par type de point d'évolution selon la source	180
Annexe I : Nombre brut d'évolutions par type de point d'évolution selon le type d'action sur le cahier des charges	181
Annexe J : Analyse des évolutions refusées : ACM sur les variables critère, source, évaluateur, dimension et point d'évolution	182
Annexe K : Analyse des évolutions refusées : ACM sur les variables critère, source, évaluateur et dimension	184

Liste des tableaux

3.1	Correspondance des termes utilisés pour exprimer les concepts relatifs à l'analyse des besoins.	28
4.1	Description des parties constitutives du cahier des charges fonctionnel. . .	48
4.2	Évolution des compétences représentées au sein de l'équipe entre le début et la fin du projet.	55
5.1	Type de contact privilégié selon les phases de l'analyse des besoins.	72
6.1	Objectifs, méthodes et résultats attendus des études empiriques.	76
7.1	Description des différentes SOURCES des exigences.	79
7.2	Description de la justification des exigences.	80
7.3	Description des différentes dimensions du système auxquelles les exigences font référence.	81
7.4	Portée des exigences formulées dans le cahier des charges.	81
7.5	PORTÉE des exigences selon leur SOURCE.	85
7.6	DIMENSIONS auxquelles font références les exigences selon leur SOURCE. .	86
7.7	DIMENSIONS du système auxquelles les exigences générales renvoient en fonction leur SOURCE.	88
7.8	DIMENSIONS du système auxquelles renvoient les exigences circonscrites selon leur SOURCE.	89
7.9	JUSTIFICATIONS des exigences selon leur SOURCE.	90
7.10	JUSTIFICATIONS des exigences identifiées par l'ergonome selon la dimension du système auxquelles elles font référence.	91
8.1	Description des différentes DIMENSIONS d'un système définies par les spécifications.	98
8.2	Description des types de JUSTIFICATION des spécifications.	98
8.3	Description des éléments fonctionnels composant une fonction.	99
8.4	SOURCE des spécifications selon la DIMENSION spécifiée.	102

8.5	JUSTIFICATION des spécifications ergonomiques selon les DIMENSIONS du système auxquelles elles font référence.	103
8.6	ÉLÉMENTS FONCTIONNELS spécifiés selon la SOURCE.	104
8.7	DIMENSIONS du système décrites selon le niveau de description du système.	106
8.8	SOURCE comparée des exigences et des spécifications.	107
8.9	Justification des exigences et des spécifications.	108
9.1	Moyen de recueil des évolutions concernant les exigences et les spécifications selon le point d'évolution considéré.	116
9.2	Description des différents types de POINT D'ÉVOLUTION.	118
9.3	Description des CRITÈRES utilisés pour faire évoluer les éléments du cahier des charges.	119
9.4	Définition des ACTIONS d'évolution.	119
9.5	Moyenne, écart-type, minimum et maximum d'évolutions par type de POINTS D'ÉVOLUTION.	123
9.6	SOURCE des évolutions selon le type de POINT D'ÉVOLUTION.	126
9.7	CRITÈRES employés pour faire évoluer le cahier des charges selon la SOURCE de la demande.	127
9.8	SOURCE des évolutions selon l'ACTION d'évolution.	128
9.9	SOURCE des évolutions selon la DIMENSION du système considérée.	128
9.10	SOURCE des évolutions selon le NIVEAU de description du système.	129
9.11	CRITÈRES employés pour faire évoluer le cahier des charges selon l'ACTION d'évolution demandée.	130
9.12	CRITÈRES employés pour faire évoluer le cahier des charges selon la DIMENSION du système considérée.	131
9.13	ACTION d'évolution selon le type de POINT D'ÉVOLUTION considéré.	132
9.14	ACTION d'évolution selon le NIVEAU de description du système considéré.	132
9.15	Nombre total, moyenne, écart-type, nombre minimum et maximum de demandes d'évolutions refusées par type de POINT D'ÉVOLUTION.	134
9.16	Variances, taux d'inertie et taux d'inertie cumulés des quatre axes de l'ACM sur les variables SOURCE, CRITÈRE, ÉVALUATEUR, POINT D'ÉVOLUTION et DIMENSION.	136
9.17	SOURCE des évolutions refusées selon le type de POINT D'ÉVOLUTION (en nombre).	138
9.18	Variances, taux d'inertie et taux d'inertie cumulés des quatre axes de l'analyse en composantes multiples sur les variables SOURCE, CRITÈRE, ÉVALUATEUR, POINT D'ÉVOLUTION et DIMENSION.	138
9.19	Résumé des rôles des acteurs lors de l'évolution du cahier des charges depuis sa version initiale jusqu'à sa version finale.	144

C.1	Nombre d'ESS selon le transitoire sensible considéré et l'implication de la salle de commande (SdC).	171
D.1	Description des phases de montée d'après leur durée, la durée observée, le quart concerné et l'expérience des opérateurs de l'équipe de Conduite selon la phase de montée.	173
E.1	Exemples de besoins identifiés au cours des premières analyses de terrain.	177
G.1	SOURCE des évolutions selon la DATE (en nombre).	179
H.1	SOURCE des évolutions selon le type de POINT D'ÉVOLUTION (en nombre).	180
H.2	Taux de liaison entre la SOURCE des évolutions et le type de POINT D'ÉVOLUTION (basés sur les effectifs bruts).	180
I.1	ACTION d'évolution selon le type de POINT D'ÉVOLUTION considéré (en nombre).	181
I.2	Taux de liaison entre l'ACTION d'évolution et le type de POINT D'ÉVOLUTION lors desquels elles ont lieu (basés sur les effectifs bruts).	181
J.1	Coordonnées des modalités sur les deux axes retenus pour l'analyse en composantes multiples.	182
J.2	Contributions des modalités aux deux axes retenus pour l'analyse en composantes multiples.	182
J.3	Cosinus ² des modalités sur les deux axes retenus pour l'analyse en composantes multiples.	183
K.1	Coordonnées des modalités sur les deux axes retenus pour l'analyse en composantes multiples.	184
K.2	Contributions des modalités aux deux axes retenus pour l'analyse en composantes multiples.	184
K.3	Cosinus ² des modalités sur les deux axes retenus pour l'analyse en composantes multiples.	185

Table des figures

1.1	Liens entre les projets INTEP, EPO et APTS	5
3.1	Évolution des besoins vers les fonctions en conception de produit.	18
3.2	Évolution des besoins vers les exigences en ingénierie système.	20
3.3	Évolution de la demande vers les prescriptions fortes en ergonomie des situations de travail.	21
3.4	Évolution de la demande vers les exigences en ergonomie des systèmes informatiques.	22
3.5	Position des spécifications dans le processus d'analyse des besoins selon une perspective de conception de produits.	24
3.6	Position des spécifications dans le processus d'analyse des besoins selon une perspective d'ingénierie système.	24
3.7	Représentation d'une fonction dans SADT.	24
3.8	Position des prescriptions fortes dans le processus d'analyse des besoins en ergonomie des situations de travail.	26
3.9	Les spécifications dans le processus d'analyse des besoins en ergonomie des systèmes informatiques.	26
3.10	Synthèse du processus d'analyse des besoins.	31
3.11	Description du système selon deux dimensions.	32
3.12	Synthèse des rôles des acteurs de la conception dans l'évolution des besoins vers les spécifications.	33
3.13	Démarche ergonomique articulant trois approches selon Garrigou, Thibault, Jackson et Mascia (2001).	36
3.14	Champ d'action de l'ergonome sur les éléments d'un cahier des charges dans une perspective d'assistance à la MOA.	37
3.15	Champ d'action de l'ergonome dans une perspective de co-conception.	38
3.16	Démarche d'analyse des besoins proposée par Maguire et Bevan (2002) adaptée selon notre terminologie.	39
3.17	Description d'un système et de son évolution selon trois dimensions : point de vue, niveau de détail et temps (inspiré de Darses, 1997).	42
3.18	Représentation des points d'évolution entre deux versions d'une solution.	43

4.1	Première page du cahier des charges élaboré par l'équipe du projet APTS.	47
4.2	Chronologie des activités contribuant à la construction du cahier des charges.	50
4.3	Itération des versions successives du cahier des charges.	53
5.1	Phases de notre activité dans le projet APTS.	61
7.1	Positionnement de l'étude dans le processus d'analyse des besoins et variables étudiées.	77
7.2	SOURCES des exigences formulées dans le cahier des charges.	82
7.3	JUSTIFICATION des exigences formulées dans le cahier des charges.	83
7.4	PORTÉE des exigences contenues dans le cahier des charges.	83
7.5	DIMENSIONS du système auxquelles font référence les exigences consignées dans le cahier des charges.	84
7.6	DIMENSIONS du système auxquelles font référence les exigences générales et la SOURCE de celles-ci (en nombre).	87
7.7	DIMENSIONS du système auxquelles font référence les exigences circonscrites et la SOURCE de celles-ci.	89
7.8	Contribution des acteurs du projet selon la dimension du système et le niveau de définition des exigences.	92
8.1	Positionnement de l'étude dans le processus d'analyse des besoins.	96
8.2	Représentation d'une fonction selon la méthode SADT.	99
8.3	SOURCES des spécifications.	100
8.4	DIMENSIONS du système décrites dans les spécifications formulées.	101
8.5	JUSTIFICATION des spécifications formulées par l'ergonome.	102
8.6	ÉLÉMENTS FONCTIONNELS spécifiés.	104
8.7	Répartition des spécifications entre les acteurs selon la dimension du système considérée.	108
8.8	Modélisation de la coopération entre les membres de l'équipe de conception sur la définition des spécifications fonctionnelles.	109
8.9	Répartition des tâches concernant la définition des différentes dimensions du système, selon le niveau de description.	110
9.1	Processus d'évolution entre les différentes versions de la solution.	114
9.2	Description du processus d'évolution du système.	115
9.3	SOURCE des évolutions acceptées.	121
9.4	ACTIONS d'évolution demandées sur le système.	121
9.5	POINTS D'ÉVOLUTION lors desquels les évolutions acceptées ont lieu (effectifs bruts).	122
9.6	Nombre moyen d'évolutions par type de POINTS D'ÉVOLUTION.	122

9.7	Nombre d'évolutions en fonction du temps.	123
9.8	DIMENSIONS du système sur lesquelles portent les demandes d'évolution.	124
9.9	CRITÈRES employés pour évaluer négativement une demande d'évolution ou un élément du système.	124
9.10	NIVEAUX de la description du système sur lesquels portent les évolutions.	125
9.11	SOURCE des évolutions refusées.	133
9.12	Nombre moyen de propositions d'évolution refusées par type de POINT D'ÉVOLUTION.	134
9.13	ÉVALUATEUR des évolutions refusées.	135
9.14	CRITÈRES employés pour refuser les évolutions demandées.	135
9.15	DIMENSIONS du système sur lesquelles portent les évolutions refusées.	136
9.16	Liens entre les variables SOURCE, CRITÈRE, ÉVALUATEUR, POINT D'ÉVOLUTION et DIMENSION sur les évolutions refusées.	137
9.17	Représentation graphique des deux premiers axes de l'ACM sur les variables CRITÈRE, ÉVALUATEUR, SOURCE, et DIMENSION.	139
9.18	Représentation graphique de la classification ascendante hiérarchique des modalités des variables CRITÈRES, SOURCE et ÉVALUATEURS.	140
9.19	Représentation des liens entre SOURCES, CRITÈRES et DIMENSIONS des évolutions. La numérotation des liens renvoie aux numéros de la liste ci-dessous.	141
10.1	Source des justifications employées par l'ergonome selon la dimension et le niveau de description du système.	147
10.2	Représentation de l'activité de l'ergonome co-concepteur lors de l'analyse des besoins.	154
B.1	Diagramme schématique de la montée en puissance après rechargement. Les échelles sont données à titre indicatif.	168
D.1	Dynamiques de contrôle entre Tmoy, Tref et DPax. La Tmoy est une image de P1, la Tref est une image de P2.	174
D.2	Répartition des tâches entre les opérateurs.	175
F.1	Maquette d'une des versions de l'interface du système conçu dans APTS.	178

Introduction

Les travaux présentés dans cette thèse s'inscrivent dans le cadre des recherches sur la pratique ergonomique. Plus précisément, nous nous intéressons à la pratique de l'ergonome comme co-concepteur lors de l'analyse des besoins.

L'analyse des besoins est une des premières et plus importantes phases de la conception (Chapanis, 1996; Pahl & Beitz, 1996). Celle-ci va de l'identification des besoins et des exigences des futurs utilisateurs jusqu'à la description détaillée du système à travers la définition des spécifications. L'ensemble de ces informations est rapporté dans le cahier des charges transmis aux développeurs par les concepteurs.

Pour de nombreux auteurs, l'ergonomie doit intervenir dès ce niveau de la conception (Beevis, 2003; Hendrick, 2008). En position de co-concepteur, l'ergonome va participer à la définition des spécifications. Cette position lui confère des marges de manœuvre importantes pour intégrer ses contributions au cahier des charges et apporter des solutions adaptées (Burns & Vicente, 2000; Wulff et al., 1999b). Toutefois, ce type d'intervention est peu documenté. À notre connaissance, peu d'études empiriques s'y sont intéressés. De plus, l'analyse des besoins et les concepts associés sont peu théorisés en ergonomie. Par conséquent, les chefs de projet ne peuvent avoir une idée claire des contributions des ergonomes et, ainsi, faire appel à eux.

La popularité croissante de l'ergonomie en conception, notamment dans ses phases précoces, implique une demande de plus en plus forte d'intervention ergonomique. Par exemple, dans l'industrie nucléaire, les normes internationales imposent une participation des ergonomes à la conception (NUREG-0711, 2004). C'est d'ailleurs le cas à EDF. Récemment, cette entreprise a rendu obligatoire, pour tout projet de conception ou de modification de ses installations nucléaires, l'appel à des ergonomes en cas d'impact prévisible sur l'activité des opérateurs. Cependant, rien n'indique aux chefs de projet comment l'ergonome va contribuer et ce qu'il peut apporter à la définition du nouveau système. Or ces derniers ont besoin de ce type d'informations pour organiser la participation des ergonomes.

Dans ce cadre, nos travaux visent à construire des connaissances sur l'action ergonomique de co-conception lors de l'analyse des besoins. Nous cherchons à caractériser les contributions de l'ergonome à la construction et à l'évolution d'un des éléments centraux de l'analyse des besoins : le cahier des charges. Pour répondre à cet objectif, nous avons participé, en tant qu'ergonome, à un projet réel de conception mené par EDF R&D. Le projet APTS (Aide au Pilotage de Transitoires Sensibles¹) vise la conception d'une

1. Les transitoires sensibles sont des phases de pilotage manuel du réacteur dont les risques doivent être maîtrisés.

nouvelle aide informatique de pilotage destinée aux opérateurs de salle de commande. L'analyse de l'observation de notre participation au projet n'est cependant pas l'unique ressource de nos travaux. Celle-ci sera complétée par des analyses de traces de notre activité.

La thèse est composée de dix chapitres. Le premier chapitre décrit le contexte industriel dans lequel la thèse s'inscrit. Nous présentons l'évolution de l'implication de l'ergonomie dans l'industrie, la demande émanant d'EDF R&D concernant nos travaux et une brève description des principaux objectifs du projet APTS.

Le deuxième chapitre expose les enjeux de nos travaux pour l'ergonomie et ceux relatifs à la participation des ergonomes à l'analyse des besoins dans le cadre d'un projet industriel.

Le troisième chapitre sera consacré au cadre théorique de la recherche. Nous définissons les principaux éléments de l'analyse des besoins (besoins, exigences, spécifications) du point de vue de trois disciplines de la conception industrielle : l'ingénierie de la conception, l'ingénierie système et l'ergonomie. Puis nous présentons les différentes formes d'intervention ergonomique en analyse des besoins. Enfin, nous détaillons les éléments de l'activité collective des concepteurs d'un point de vue psycho-ergonomique.

Dans le quatrième chapitre, nous présentons le processus de construction du cahier des charges du projet APTS. Nous décrivons son contenu, la manière dont il a été construit, et les acteurs ayant participé à son élaboration.

Le cinquième chapitre rapporte notre activité de co-concepteur, et notamment notre participation à la construction du cahier des charges. Après avoir décrit et critiqué la méthode d'observation participante, nous mettons en lumière, d'une part, les écarts entre le réel de notre contribution et ce qui en était attendu, et, d'autre part, l'importance de la construction sociale de notre intervention.

À partir des éléments précédents, nous exposons, dans le sixième chapitre, la problématique de recherche.

Les chapitres sept, huit et neuf présentent les études empiriques menées dans le cadre de nos travaux. À travers l'analyse des exigences contenues dans le cahier des charges, la première étude vise à éclaircir le rôle de l'ergonome dans leur formulation. Afin de mieux le cerner, il sera comparé avec celui des ingénieurs et des utilisateurs.

La seconde étude cherche à préciser les apports de l'ergonome dans la formulation des spécifications. De manière similaire à la précédente étude, le rôle de chacun des participants sera étudié à travers l'analyse des spécifications contenues dans le cahier des charges.

L'objectif de la troisième étude empirique est de comprendre la contribution de l'ergonome à l'évolution du cahier des charges au cours de l'analyse des besoins. Pour cela, nous analyserons les demandes d'évolution exprimées par chacun des acteurs afin de dégager les éléments constitutifs de leurs rôles respectifs.

Enfin, dans le dernier chapitre, nous concluons sur le rôle de l'ergonome co-concepteur. Sur la base des résultats de nos études et de la littérature, nous proposons une méthode d'intervention ergonomique de co-conception. Par rapport aux méthodes existantes, celle-ci met davantage l'accent sur les aspects collectifs de ce type d'intervention et détaille les apports de l'ergonome à la conception des différentes dimensions d'un système (fonctionnelle, opérationnelle, interface, organisationnelle, physique).

Chapitre 1

Contexte industriel

Récemment, EDF R&D et l'ensemble du groupe EDF se sont engagés dans une démarche visant à améliorer l'intégration de l'ergonomie dans les projets de modification des réacteurs nucléaires du parc français de production d'électricité. Le projet Aide au Pilotage de Transitoires Sensibles¹ (APTS), au sein duquel se déroule l'ensemble de nos travaux (tant les aspects scientifiques que pragmatiques) est un exemple de cette volonté.

Après une présentation du contexte industriel de l'ergonomie en conception, nous détaillons la demande faite par EDF R&D concernant l'analyse des besoins. Ensuite, nous décrivons le projet dans lequel notre intervention ergonomique s'inscrit, notre tâche en son sein et notre environnement de travail.

1.1 Implication croissante de l'ergonomie en conception

Depuis quelque temps, l'ergonomie (ou les « facteurs humains ») est de plus en plus demandée en conception. Il y a une dizaine d'années, l'intervention se faisait plutôt en aval de l'identification des besoins et de la construction d'un prototype. L'ergonome était généralement appelé pour évaluer des dispositifs déjà conçus. Ainsi, il intervenait trop tard pour apporter les modifications nécessaires sans augmenter radicalement le coût du projet. Cependant, la présence de l'ergonome co-concepteur dès les premières phases de l'analyse des besoins est grandissante. Par exemple, au congrès de la SELF² de 2001, seulement 4 des 14 communications retraçant une intervention en conception relataient une contribution à l'identification des besoins. Les dix autres rapportaient des participations à l'évaluation de systèmes. En 2007, à ce même congrès, 4 des 6 communications sur l'intervention ergonomique en conception présentaient une participation à l'identification des besoins.

Aujourd'hui, de plus en plus d'entreprises intègrent la discipline dans leur processus de conception. Par exemple, l'ensemble des modifications du parc nucléaire d'EDF doit être évalué selon leur criticité vis-à-vis des activités humaines. Si celles-ci sont impactées par le projet de modification, une analyse ergonomique du travail sera prescrite. Cette

1. Les transitoires sensibles sont des phases particulières de l'exploitation d'un réacteur nucléaire au cours de son cycle.

2. Société d'Ergonomie de Langue Française.

participation de l'ergonomie en conception est également normalisée en informatique (par exemple, ISO 13407) ou encore dans l'industrie nucléaire nord-américaine (NUREG-0711).

Néanmoins, l'ergonomie reste mal connue. De nombreuses fausses idées sur son domaine d'application perdurent. Ainsi, pour certains concepteurs, l'ergonomie se limite à déterminer la couleur et la taille des polices d'affichage, rendant son intégration en analyse des besoins superflue ou considérée comme un « luxe ».

1.2 La demande du département « Management des Risques Industriels » d'EDF R&D

En vue d'améliorer l'intégration de l'ergonomie dans les projets de conception, EDF a missionné des ingénieurs-chercheurs du groupe Facteurs Humains du département Management des Risques Industriels³ (MRI) d'EDF R&D de proposer des outils. Ceux-ci ont développé une démarche, l'analyse de sensibilité, aidant les équipes de conception chargées d'effectuer des modifications sur les installations nucléaires existantes. Cette démarche d'analyse vise notamment à évaluer l'impact des modifications prévues sur le travail des opérateurs et l'organisation des centres de production afin d'en tenir compte lors de la conception. La démarche fournit également une aide pour les chefs de projet. Cette aide les guide pour déterminer leurs besoins en expertise ergonomique. Ainsi, selon le type de modification et l'impact prévisible sur l'activité, ils peuvent savoir s'ils doivent faire appel ou non à une expertise ergonomique.

Dans ce cadre, EDF R&D cherche également à mieux comprendre et à renforcer le rôle de l'ergonomie dans cette démarche. Une fois le besoin en expertise ergonomique avéré, les chefs de projets, les autres concepteurs et l'ergonome doivent travailler ensemble. Développer des connaissances sur la manière dont l'ergonome peut intervenir dans le projet et coopérer avec les autres concepteurs est donc fondamental.

1.3 Notre intervention dans le projet APTS

Dans cette thèse, nous rapportons notre action en tant qu'ergonome dans un projet réel de conception porté par EDF R&D. Le projet APTS est pris comme un cas d'étude de la participation d'un ergonome dans l'analyse des besoins, et donc, dans la construction d'un cahier des charges. Après une description des principaux éléments du projet APTS, nous abordons deux éléments clés de notre activité d'ergonome, en particulier pour ce qui concerne la forme de notre participation au cahier des charges⁴. Nous décrivons notre tâche dans le projet et notre cadre de travail au sein du département MRI d'EDF R&D.

3. Il s'agit du département dans lequel l'auteur est intégré pour réaliser sa thèse.

4. Un autre ergonome est présent dans le projet. Cependant, sa fonction est d'encadrer notre travail dans le projet, il ne participe pas activement à celui-ci.

1.3.1 Objectifs et enjeux du projet APTS

Le projet APTS fait partie d'un programme de recherche appliquée appelé « Intégration des Nouvelles Technologies pour une Exploitation plus Performante » (INTEP). INTEP est un programme lancé en 2006 par EDF R&D sur commande de la Division de la Production Nucléaire⁵ (DPN) d'EDF. Il vise à « *dégager des nouveaux gains de performance en intégrant dans l'exploitation de ses moyens de production des nouvelles solutions s'appuyant sur des technologies modernes dont les NTIC (nouvelles technologies de l'information et de la communication) et les outils logiciels de simulation* » Denayrolles (2008, p. 11).

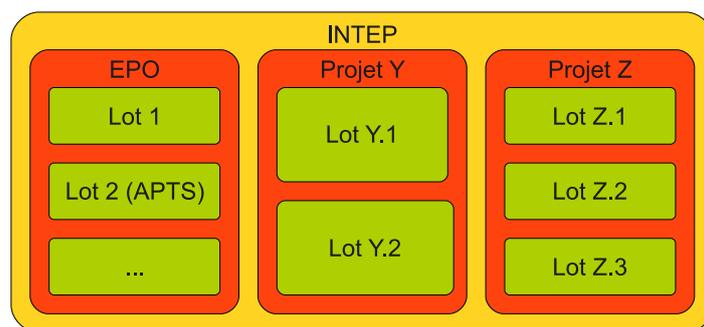


Figure 1.1 – Liens entre les projets INTEP, EPO et APTS

Le projet « aide au pilotage de transitoires sensibles » (APTS) est un des lots (le lot A2) d'un projet plus large (figure 1.1), le projet « Exploitation du Process à l'Optimum » (EPO). L'objectif de ce dernier est de développer des aides au pilotage et à la surveillance du réacteur à partir de données du process à destination des opérateurs de salle de commande. L'enjeu est de raccourcir une période spécifique de l'exploitation d'une installation nucléaire : l'arrêt de tranche⁶. Pendant les périodes d'arrêt, l'installation n'est pas rentable puisqu'elle ne produit plus d'électricité. L'objectif de l'exploitant est donc de réduire au maximum cette période d'arrêt. Ainsi, le but d'APTS est de participer à la réduction de la durée d'une des phases de l'arrêt de tranche, la montée en puissance après rechargement⁷. Cependant, cette augmentation de productivité doit se faire à niveau de sécurité identique.

Le projet APTS est une étude de faisabilité. La démonstration de cette faisabilité (ainsi que l'intérêt de l'aide conçue) sera concrétisée à travers le développement d'un prototype. Dès le début du projet, la technologie au cœur du fonctionnement de l'outil est fixée. La solution proposée au terme de l'étude de faisabilité devra s'appuyer sur deux technologies⁸ : la modélisation physique du process (technologie A) d'une part, et la modélisation logique des procédures de conduite (technologie B) d'autre part.

Plusieurs caractéristiques importantes pour la suite de notre étude sont à noter. Premièrement, le projet s'inscrit dans deux objectifs globaux :

5. La DPN est la division de l'entreprise EDF chargée de l'exploitation du parc de réacteurs nucléaires.
 6. Dans le jargon nucléaire, une tranche correspond à une installation nucléaire, c'est-à-dire l'ensemble des circuits nécessaires pour produire de l'électricité à partir d'énergie nucléaire.
 7. Voir annexe B (p. 167) pour une présentation des transitoires sensibles et de la montée en puissance après rechargement
 8. Comme nous le verrons après, seule la première technologie sera finalement utilisée.

- un objectif en termes de bénéfice pour l’exploitant, le demandeur de la conception : améliorer les performances d’exploitation et la sûreté des installations.
- un objectif en termes de reconnaissance de savoir-faire technologique : s’appuyer sur des technologies développées par EDF R&D.

Par ailleurs, l’ensemble du projet APTS est guidé par un troisième objectif sous-jacent : l’innovation. En effet, les technologies qui feront fonctionner l’outil ne sont pas, à l’heure actuelle, utilisées sur le parc nucléaire français.

Deuxièmement, le projet étudié est un projet « amont ». La réussite et l’approbation des résultats du projet par le commanditaire (la DPN) ne débouchent pas sur un outil industriel pouvant directement être implanté sur une installation nucléaire. Le processus d’industrialisation sera lancé uniquement si le prototype démontre un intérêt économique pour l’exploitation. De plus, EDF R&D (le concepteur de l’aide) ne sera pas chargé de l’industrialisation de cette aide. Une autre entité d’EDF, la DIN (pour Division de l’Ingénierie Nucléaire), s’en occupera.

Troisièmement, le commanditaire et les concepteurs de l’équipe projet font partie de la même entreprise. Il s’agit d’un projet interne à l’entreprise EDF. Il est réalisé par et pour EDF⁹. Le projet ne vise pas la commercialisation d’une technologie à une entreprise tierce ou à des clients.

Quatrièmement, la tâche censée être aidée via l’utilisation de l’outil existe déjà. Il ne s’agit pas de concevoir une aide pour une tâche qui n’existe pas encore. Les opérateurs sont donc en mesure de la réaliser (et la réalisent depuis la mise en service des installations) sans l’aide spécifique envisagée.

Enfin, le projet possède une particularité organisationnelle. Deux départements d’EDF R&D sont impliqués : MRI et STEP (pour Simulation et Traitement pour l’Exploitation des données de Process). Ainsi, des ingénieurs-chercheurs des deux départements ont collaboré pour produire le cahier des charges du système demandé par la DPN. Dans ce cadre, les ergonomes (nous-même et notre encadrant) proviennent du département MRI, l’expertise technologique et la gestion du projet sont portées par le département STEP.

1.3.2 Notre tâche dans APTS

La thèse et notre travail dans le projet s’inscrivent dans le cadre d’un contrat entre EDF R&D et l’équipe d’ergonomie du Centre de Recherche sur le Travail et le Développement (CRTD) du Conservatoire National des Arts et Métiers (CNAM). Les termes de ce contrat détaillent les tâches de l’ergonome dans le projet en terme d’objectifs. En tout, cinq objectifs sont indiqués :

- contribuer à l’identification du (ou des) transitoire(s) sensible(s) à étudier ;
- analyse de l’activité et des opérations associées à ce transitoire ;
- analyse du retour d’expérience événementiel existant en lien avec le transitoire sensible afin de dégager les difficultés particulières ;
- identification des premiers besoins des opérateurs pouvant être mis en relation avec les technologies proposées par STEP ;

9. Même si, juridiquement, EDF R&D et la DPN sont des entités séparées

- évaluation « ergonomique » lors de la phase d'expérimentation ;
- accompagnement de la phase de déploiement.

De la description de cette tâche, deux points sont à retenir. Premièrement, nous devons réaliser l'analyse de l'activité des futurs utilisateurs et du retour d'expérience ainsi qu'identifier les besoins des opérateurs. Les tâches de maquettage et de spécification des besoins (ou des exigences de conception) ne sont pas prévues dans le contrat. Notre tâche inclut, en plus, l'évaluation et l'accompagnement du déploiement du système. Celles-ci ne seront cependant pas réalisées du fait du retard accumulé au cours du projet. Ces tâches seront toutefois réalisées ultérieurement.

Deuxièmement, nous devons mettre en relation les technologies proposées par le département STEP avec les besoins identifiés sur le terrain. Cette tâche essentielle est due à une caractéristique du projet : ses enjeux technologiques. L'outil final doit reposer sur une technologie déjà déterminée, et nous devons faire le lien entre ces technologies et les besoins.

1.3.3 Un environnement de travail favorable à l'ergonomie

Deux éléments de notre environnement sont notables pour leurs influences sur notre activité. De manière générale, le défi INTEP, le programme de recherche dont le projet APTS fait partie, est bien disposé envers l'ergonomie. Au niveau du défi, un ergonomiste est chargé de gérer l'ensemble des besoins en ergonomie dans les différents projets. L'ergonomie est donc prévue dès le départ du projet APTS, et est considérée comme une part importante de la réussite du projet. Nous n'avions donc pas à justifier notre présence, celle-ci était légitime dans le projet. Ceci ne signifie cependant pas que l'ergonomie et l'intervention ergonomique en conception était connue par les autres membres du projet APTS.

Deuxièmement, l'équipe de conception d'APTS était ouverte à l'ergonomie et aucun de ses membres n'avait travaillé avec un ergonomiste auparavant. Au début du projet, les autres membres de l'équipe de conception n'avaient aucun a priori sur ce que nous devions et/ou pouvions faire dans le projet. Deux conséquences importantes peuvent être tirées de cette relative ignorance. D'une part, nous avons pu construire et négocier de manière informelle notre intervention. Cette flexibilité nous a permis de participer au projet au-delà des prévisions initiales du contrat. D'autre part, apprendre à travailler avec les autres concepteurs fut l'un des éléments importants de notre activité dans le projet.

Chapitre 2

Enjeu : renforcer l'intégration de l'ergonomie lors de l'analyse des besoins

Favoriser l'intégration de l'ergonomie lors de l'analyse des besoins est un enjeu important pour l'ergonomie, mais aussi pour la conception. D'une part, et contrairement aux disciplines d'ingénierie, l'ergonome ne peut produire seul une solution technique, qu'elle soit physique ou logicielle. Il ne peut participer à la conception sans co-concevoir. L'ergonome doit collaborer avec les autres disciplines impliquées dans un projet. D'autre part, une analyse des besoins mal conduite peut conduire à un fort accroissement des coûts de conception liés aux modifications nécessaires ou à l'abandon du système conçu (Ewusi-Mensah, 1997; Sutcliffe, 2002). L'introduction de l'ergonomie à cette étape permettrait de l'améliorer (Beevis, 2003; Hendrick, 2003).

Cet enjeu se décline nécessairement en deux directions complémentaires. D'une part, du point de vue opérationnel, il s'agit d'augmenter la visibilité envers les chefs de projets sur la forme potentielle des contributions de l'ergonomie à l'analyse des besoins. D'autre part, du point de vue scientifique, il s'agit de développer les connaissances sur l'action ergonomique lors de l'ensemble des étapes de l'analyse des besoins.

2.1 Aider les chefs de projets à faire appel à des ergonomes

Du point de vue opérationnel, l'enjeu est d'aider un des acteurs clé en conception : le chef de projet. En effet, les chefs de projet doivent prévoir la main-d'oeuvre dont ils auront besoin et planifier l'ensemble des phases du projet et notamment les productions de l'équipe (les livrables, cahier des charges, etc.). À ce moment, ils choisissent les différentes expertises nécessaires pour concevoir le système en question, et doivent notamment prévoir leur charge de travail respective. Concernant l'ergonomie, ils doivent donc connaître précisément son rôle par rapport aux autres, les types de contenu que les ergonomes peuvent produire, et les entrées qu'ils peuvent fournir à la conception. En vue de répartir et prévoir la main d'oeuvre sur la durée du projet, ils doivent également connaître les étapes où les ergonomes peuvent ou doivent intervenir. Caractériser les apports de l'er-

gonomie par rapport aux autres expertises impliquées dans la conception tout au long du processus d'analyse des besoins est donc un enjeu central.

Pour EDF R&D, l'intérêt de la thèse est d'apporter des connaissances complémentaires aux travaux amorcés dans le département MRI. Comme nous l'avons évoqué, les chercheurs ergonomes du département MRI ont développé une technique appelée « analyse de sensibilité¹ ». Cette méthode est en train de devenir une prescription nationale. Cependant, le but de cette démarche n'est pas d'informer sur l'action concrète des ergonomes dans le projet. Ainsi, du point de vue d'EDF R&D, l'enjeu de nos travaux est de compléter l'analyse de sensibilité. Plus précisément, il s'agit de formaliser l'intégration de l'ergonomie lors de l'analyse des besoins en vue d'informer les chefs de projet d'EDF R&D² des potentielles contributions des ergonomes.

2.2 Développer les connaissances sur l'action ergonomique en analyse des besoins

D'un point de vue scientifique, l'enjeu de la thèse est de développer les connaissances sur l'action des ergonomes en position de co-concepteurs lors de l'analyse des besoins. Le but est de proposer une démarche d'analyse des besoins articulée avec les autres concepteurs. En effet, il ne suffit pas d'agir seulement du côté des concepteurs pour que l'ergonomie soit intégrée en conception. Il est également nécessaire de proposer des modèles et une démarche d'intervention cohérente afin qu'elle puisse être portée par la discipline et enseignée.

Longtemps reléguée à l'évaluation des dispositifs qu'elle ne participait pas à concevoir, l'ergonomie se trouve aujourd'hui confrontée à un paradoxe. D'un côté, comme nous l'avons vu précédemment, la demande d'ergonomie (ou de « facteurs humains³ ») en conception est forte, surtout dans la conception de systèmes complexes. Les méthodes de conception ergonomique et leur intégration dans le processus font même l'objet de normes (par exemple, NUREG-0711 et ISO 13407). De l'autre côté, comme nous le verrons ci-après, notre discipline dispose de peu de connaissances sur la manière dont les ergonomes co-concepteurs peuvent participer à l'analyse des besoins.

2.2.1 L'ergonomie est mal positionnée dans le processus d'analyse des besoins

La littérature en ergonomie et les normes prescrivant son intégration (par exemple, la NUREG-0711) abordent généralement l'analyse des besoins par les techniques permettant d'identifier les besoins sans toutefois en donner une définition et une typologie précise (Maguire, 2001). Or, selon nous, deux aspects de l'intervention ergonomique sont majeurs en analyse des besoins : les productions des ergonomes et leur intégration dans le cahier des charges. À notre connaissance, seules les études empiriques de Wulff et al. (1999b)

1. Pour rappel, l'analyse de sensibilité est un outil destiné aux chefs de projet les aidant à décider s'ils doivent faire appel à une expertise ergonomique selon l'impact prévu du projet de conception sur le travail des opérateurs et l'organisation des installations nucléaires.

2. Et, plus largement, ceux d'EDF.

3. Il s'agit du terme le plus utilisé dans les entreprises et les industries.

et celle de Lamonde (2000) ont abordé la question des productions des ergonomes dans les projets de conception. Ces auteurs soulignent également l'importance de la dimension sociale de l'intervention ergonomique pour que les prescriptions ergonomiques soient intégrées par les concepteurs. Cependant, les productions sont uniquement caractérisées à travers le niveau de prescription qu'elles véhiculent. Et, même si Lamonde (op. cit.) parle de l'origine de ces prescriptions, aucune autre analyse n'est réalisée. De même, les normes sur l'intégration de l'ergonomie discutent peu de l'articulation entre l'ergonome et les autres concepteurs

Ainsi, le manque de connaissances dans ce domaine provoque une articulation difficile entre l'intervention ergonomique et le travail des concepteurs (Lindgaard et al., 2006). Il en résulte un positionnement difficile dans les projets. L'ergonome, même s'il est identifié comme partenaire ou co-concepteur, doit « faire sa place », apprendre aux autres comment il travaille voire expliquer sa présence.

2.2.2 Les besoins, centraux en ergonomie, sont peu formalisés

Dans la conception de systèmes ou de produits, les besoins sont une question centrale. Ils forment la base et la justification des caractéristiques et propriétés des nouveaux artefacts. En ergonomie, les besoins des utilisateurs finaux occupent également une place importante. Leur découverte est un des enjeux de l'intervention ergonomique en analyse des besoins. Cependant, dans des ouvrages de référence sur l'ergonomie et l'action ergonomique, la transformation de la situation par la conception occupe une place réduite. L'accent est généralement mis sur les connaissances de base ou sur le diagnostic ergonomique et les méthodes associées. Par exemple, dans l'ouvrage⁴ de Guérin et al. (1997) seul un chapitre (soit 23 pages) sur douze (soit 270 pages au total) porte spécifiquement sur la transformation de la situation. Autre exemple, l'ouvrage collectif « ergonomie, concepts et méthodes » de Rabardel et al. (1998) propose trente-six fiches. Une seule est dédiée à l'action sur la situation de travail (fiche 22) et aucun des outils présentés n'est utile à la proposition de solutions de conception. De plus, le terme de « besoin » n'est pas cité. Il s'agit pourtant d'un terme très usité en ingénierie de la conception. Les besoins semblent implicites à l'analyse de la situation de travail et de l'activité. Tout se passe comme s'il suffisait d'analyser le travail pour découvrir les besoins des utilisateurs et intervenir efficacement en conception.

La question des besoins, de leur substance, de leur définition, et de la forme qu'ils peuvent prendre est donc peu discutée en ergonomie. Les besoins sont peu théorisés. Pourtant, pour collaborer avec des experts d'autres disciplines, il est nécessaire de parler le même langage (par exemple, Roussel, 1996). De plus, comme l'indiquent Wulff et al. (1999b), il ne suffit pas à l'ergonome de proposer des préconisations pour qu'elles soient prises en compte dans les spécifications produites par les concepteurs. Une position de co-concepteur assurerait à l'ergonome un contrôle plus important des spécifications.

4. Pourtant intitulé « comprendre le travail pour le transformer ».

Chapitre 3

Cadre théorique

L'analyse des besoins est une étape essentielle d'un projet de conception. Elle définit le système en cours de conception (par exemple, Chapanis, 1996). De nombreuses disciplines se sont intéressées à cette étape. De nombreuses disciplines peuvent participer à l'analyse des besoins, comme, par exemple, le marketing. Cependant, nous nous appuyerons uniquement sur des disciplines agissant dans l'ensemble de l'analyse des besoins. Ainsi, dans le cadre de la thèse, nous nous sommes plus particulièrement attaché à clarifier ce que trois disciplines ont apporté à l'analyse des besoins : l'ingénierie de la conception de produit, l'ingénierie des systèmes et l'ergonomie.

Après une description des principaux concepts de l'analyse des besoins, nous proposons nos propres définitions. Nous abordons ensuite la manière dont l'ergonomie peut agir dans l'analyse des besoins. En effet, il ne suffit pas de savoir que l'ergonomie peut participer à l'analyse des besoins, il est nécessaire de définir de quelle manière. La conception étant un processus collectif et pluridisciplinaire, nous terminons notre état de l'art en présentant l'analyse des besoins sous un angle socio-cognitif.

3.1 Les besoins et les attentes envers le futur artefact

Dans cette thèse, nous considérons les besoins comme le point d'origine de la conception. Nous nous positionnons dans une perspective « *market pull*¹ » (Howells, 1997). En effet, que ce soit dans les disciplines du génie (par exemple, Aoussat & Le Coq, 1998; Bahill & Dean, 2009; Pahl & Beitz, 1996) ou de l'ergonomie (par exemple, Burkhardt & Sperandio, 2004; Maguire & Bevan, 2002), les besoins sont au centre de la conception et du développement d'un nouveau dispositif. Leur analyse est donc fondamentale puisqu'elle aboutit à la définition de l'ensemble du futur système.

3.1.1 Disciplines concernées par l'analyse des besoins

Les disciplines présentées ci-dessous visent la conception de systèmes ou de produits. Un produit est un objet matériel ou non destiné à des consommateurs. Un système est une entité composée d'humains et d'objets matériels (par exemple, des ordinateurs) ou non

1. Demande du marché, notre traduction.

(par exemple, des règles ou des procédures). Lorsque cela est nécessaire, nous utiliserons le terme d'artefact pour faire référence indifféremment aux deux concepts. Les différences apportées par cette distinction seront discutées de manière plus approfondie. Dans le reste de ce chapitre, nous nous appuyons sur ces disciplines pour définir les besoins, les caractéristiques de l'artefact et sa spécification.

3.1.1.1 L'ingénierie de la conception de produit

L'ingénierie de la conception de produit se place dans le cadre de la norme AFNOR FD X50-127 (2002). Ici, la conception est un « *ensemble de processus qui transforment des exigences en caractéristiques spécifiées ou en spécifications d'un produit* ». Il existe quatre types de produits : les services, les produits matériels, les « *software* » (produits immatériels véhiculant des connaissances) et les produits issus de procédés industriels continus comme, par exemple, les produits chimiques. L'origine de la conception est le besoin d'un client. Les produits sont destinés à des consommateurs. L'objectif des concepteurs est de définir un produit (qu'il soit matériel ou non) et son usage. Contrairement aux deux autres disciplines, la conception de produit ne vise pas la création de systèmes complexes de travail, impliquant aussi bien la conception des machines que la définition des tâches humaines et de l'organisation.

3.1.1.2 L'ingénierie système

L'ingénierie système est, d'après l'INCOSE² (<http://www.incose.org>), une « *discipline de l'ingénierie dont la responsabilité est de créer et d'appliquer un processus interdisciplinaire en vue d'assurer la satisfaction des besoins des clients et des parties prenantes tout au long du cycle de vie d'un système de manière fiable, rentable, en optimisant la valeur, les coûts et en respectant les délais.* ». Plusieurs conséquences résultent de cette définition. D'une part, en ingénierie système, la conception est pluridisciplinaire. De nombreux métiers, dont l'ergonomie, travaillent ensemble aux côtés des ingénieurs traditionnellement responsables de la conception. D'autre part, les besoins sont au cœur de la conception des systèmes. Enfin, le système répond aux besoins du client mandant la conception et aux besoins de l'ensemble des parties prenantes du projet. Contrairement à l'ingénierie de la conception, le recueil des besoins est élargi à l'ensemble des personnes concernées par le nouveau système. Pour montrer l'importance de l'analyse des besoins, au sein de l'ingénierie système un courant, le « *requirement engineering* » (l'ingénierie des exigences), s'est spécialisé dans cette phase de la conception.

3.1.1.3 L'ergonomie

Enfin, l'ergonomie (ou les facteurs humains) est, selon l'IEA³, « *la discipline scientifique s'intéressant à la compréhension des interactions entre les humains et les autres éléments d'un système et la profession appliquant les théories, principes, données et méthodes pour concevoir en vue d'optimiser le bien-être des humains et la performance globale d'un système* ». Pour la suite de ce document, deux éléments de cette définition sont importants.

2. *International Council On Systems Engineering.*

3. *International Ergonomics Association* (<http://www.iea.cc/>)

D'une part, la conception est au cœur de l'ergonomie. Il s'agit d'une préoccupation majeure de la discipline et le moyen d'action privilégié pour améliorer la performance des systèmes. D'autre part, l'ergonomie s'intéresse à la conception de systèmes composés d'humains et de machines. Il ne suffit pas de concevoir la machine, il faut concevoir le système entier (l'organisation, les tâches des opérateurs, leur formation, etc.). De ce point de vue, l'ergonomie est proche de l'ingénierie des systèmes. La principale différence réside dans les méthodes employées par les deux disciplines pour découvrir les besoins des futurs utilisateurs.

3.1.2 Les besoins : le point de départ de la conception

Quelle que soit la discipline concernée, le ou les besoins sont le départ de la conception. Selon le dictionnaire (Le Petit Larousse en couleurs, 1988), un besoin est, soit ce qui est nécessaire pour réaliser quelque chose, soit une attente destinée à combler un manque. Un besoin est donc double. Il fait référence à quelque chose d'existant (un élément nécessaire à quelque chose) ou au contraire, à ce qui n'existe pas. Tandis que la nécessité est fondamentalement définie par rapport au contexte actuel et existant, l'attente est foncièrement tournée vers le futur. Il s'agit, pour emprunter les termes de Daniellou (2004, p. 361), d'une « expression relative au futur ». La définition du Larousse illustre parfaitement les définitions proposées par les différentes disciplines. Elle montre également la nécessité de clarification de ce terme, car même si les disciplines de la conception utilisent le terme de « besoin », elles n'en donnent pas forcément la même définition.

Cette section montre comment les différentes disciplines de l'ingénierie et de l'ergonomie couvrent l'ensemble de la définition des besoins présentée ci-dessus, et, par conséquent, les complémentarités et différences entre elles. Après une présentation de la vision des besoins par l'ingénierie de la conception de produit, nous détaillons les approches de l'ingénierie des systèmes et de l'ergonomie. Celles-ci sont mises en exergue notamment par l'analyse des méthodes employées pour découvrir les besoins.

3.1.2.1 Les besoins vus par l'ingénierie de la conception de produit

En conception de produit, les besoins forment la base de la conception. Dans une démarche « market-pull », ils sont à l'origine de tout nouveau produit. Il s'agit de l'expression des attentes relatives au futur produit (Yannou, 1998). Les auteurs distinguent généralement deux types de besoins : les besoins fondamentaux et les besoins liés aux contraintes de la situation future d'utilisation.

Le besoin fondamental (Yannou, op. cit.) est extérieur à l'équipe de conception. Il est généralement exprimé par le client ou un département interne de l'entreprise comme le marketing (Aoussat & Le Coq, 1998). Il est donc nécessairement explicite et conscient. Le travail des concepteurs est, premièrement, de comprendre et de reformuler ce besoin. Une technique utilisée pour reformuler le besoin fondamental est l'outil « bête à cornes » (technique développée par la société APTE, voir Yannou, op.cit., pour une description de la technique). Cette technique repose sur la manière dont le concepteur se représente le monde et les éléments extérieurs au produit qu'il conçoit. Cette traduction est la première étape de l'analyse fonctionnelle.

Les besoins liés au contexte (ou situation) futur d'utilisation du produit (Yannou, op.

cit.), sont généralement peu ou pas explicités par le client. Dans l'esprit de la norme NF X50-100 (1996), il est possible de parler de besoin implicite, c'est-à-dire des attentes non formalisées et explicitées par le client. C'est au concepteur de les découvrir. L'outil « bête à cornes » permet également de les découvrir.

Autrement dit, le besoin fondamental se réfère à l'attente exprimée par le client puis traduite par les concepteurs. Les besoins liés au contexte correspondent aux attentes implicites du client identifiées par les concepteurs. Leur identification repose donc sur la représentation que les concepteurs se font de la situation d'utilisation future (Darses & Wolff, 2006). Une fois l'ensemble des besoins déterminés par les concepteurs, ils doivent être validés auprès du client mandant la conception.

3.1.2.2 Les besoins dans l'ingénierie des systèmes et l'ingénierie des exigences

Selon Blanchard (2008), le point de départ de la conception est le besoin initial d'un client. Par exemple, l'auteur évoque un nouveau système permettant d'accomplir des tâches jusqu'alors impossibles à réaliser ou des difficultés d'exploitation avec un système existant rendant nécessaire son amélioration. Comme dans la conception de produit, le besoin est en fait l'expression des attentes du client vis-à-vis du futur système. Elles s'expriment en termes de fonctionnalités, caractéristiques ou propriétés du système demandé. Dans la littérature, ce besoin initial est également appelé mission ou « exigence de haut niveau » (NASA, 2007).

Une fois le besoin initial compris, les concepteurs doivent déterminer les attentes de l'ensemble des parties prenantes (traduction de l'anglais « *stakeholders* ») du système en conception (Blanchard, op. cit.). Contrairement à la conception de produit, ce recueil est élargi à l'ensemble des personnes intéressées de près ou de loin par le nouveau système. Le client n'est pas l'unique source des besoins. Bahill & Dean (2009) identifient un certain nombre d'acteurs auprès desquels les concepteurs doivent recueillir les attentes. Il est possible de regrouper l'ensemble de ces protagonistes dans trois catégories :

- les mandants (ou maîtres d'ouvrage) du système finançant la conception (par exemple une entreprise, un gouvernement, un client) ;
- les concepteurs du système (par exemple des ingénieurs de différentes spécialités, des ergonomes) ;
- ceux qui vont utiliser le système : que ce soit pour l'exploiter (par exemple les opérateurs, managers), l'installer ou le maintenir jusqu'à son retrait de l'exploitation, et, enfin, ses usagers (par exemple, les usagers des transports).

Selon Rolland & Prakash (2000), les attentes des parties prenantes (leurs besoins) proviennent de deux « mondes » : le monde du sujet et celui de l'usage. Le premier renvoie à l'ensemble des objets réels, leurs propriétés et les relations qu'ils entretiennent, c'est-à-dire l'environnement physique du sujet. Il s'agit des contraintes « techniques » du monde physique que le système proposé par les concepteurs devra prendre en compte. Ces besoins sont identifiés lors d'analyses techniques du système « sur le papier », que ce soit à travers des plans d'installation, des caractéristiques techniques des matériaux, etc. Il s'agit donc

d'un univers technique tel qu'il est conçu et non tel qu'il fonctionne réellement avec ses aléas et ses dégradations. Le « monde de l'usage » correspond à l'ensemble des tâches et des procédures réalisées par les opérateurs. Cependant, ceux-ci sont généralement dérivés des objectifs de l'organisation, et non d'une analyse des tâches réelles.

Ainsi, selon ces auteurs, l'origine des attentes renvoie, soit aux contraintes techniques du monde physique, soit aux buts assignés aux opérateurs par l'organisation. Ils font donc référence à une vision « théorique » du travail et du monde physique. Or, l'ergonomie a montré maintes fois les différences entre cette vue théorique (qualifiée de prescrite en ce qui concerne les tâches) et le monde réel. Le principal problème de cette approche est donc son manque de prise en compte de l'existant et du travail réel des opérateurs. Ainsi, le dispositif ne sera pas nécessairement adapté aux contraintes réelles des opérateurs, qu'elles soient techniques ou organisationnelles.

3.1.2.3 Les besoins vus par l'ergonomie

En ergonomie, le point de départ de la conception est, comme dans les autres disciplines évoquées, une demande de la part d'un client exprimant des attentes envers un futur système. Une fois la demande reformulée, les ergonomes doivent identifier et comprendre les besoins de l'ensemble des parties prenantes (Chapanis, 1996). Néanmoins, selon le domaine d'application considéré, le terme utilisé dans la littérature ergonomique pour faire référence au concept de besoin n'est pas le même. L'ergonomie des systèmes informatiques et des interfaces humain-machine utilise extensivement le terme de besoin. Par contre, il est relativement peu employé dans l'ergonomie de conception des situations de travail. Cependant, le concept de besoin est largement développé dans les deux domaines. L'ergonomie s'attache d'ailleurs, plus que les autres disciplines à détailler la manière de les atteindre.

En ergonomie des systèmes informatiques, les besoins des utilisateurs⁴ sont la base et la justification des fonctionnalités, propriétés et caractéristiques du futur système (Chapanis, *op. cit.* ; Maguire, 1998; Maguire & Bevan, 2002; Burkhardt & Sperandio, 2004). En ergonomie des situations de travail, ces fonctionnalités et caractéristiques sont notamment basées sur des « repères descriptifs pour la conception » que l'ergonome doit fournir aux concepteurs (Daniellou, 2004; Garrigou et al., 2001). Ainsi, à notre sens, les besoins et des « repères descriptifs pour la conception » sont assimilables. Ils sont tous deux la base de ce que sera et devra faire le système.

Définis de cette manière, les utilisateurs expriment rarement des besoins. Les utilisateurs formulent plutôt des attentes envers le futur système. Il revient à l'ergonome de comprendre le ou les besoins sous-jacents. Autrement dit, l'ergonome ne s'attache pas uniquement à recueillir les attentes des utilisateurs, il cherche à en comprendre l'origine. Cependant, les utilisateurs ne peuvent pas nécessairement exprimer de manière consciente l'ensemble de leurs attentes. Celles-ci peuvent être latentes (Sperandio, 2001). Ainsi, l'ergonome ne doit pas uniquement déterminer l'origine des attentes exprimées par les utilisateurs. Il doit aller au-delà.

Les besoins (ou les « repères descriptifs ») sont identifiés à partir de l'analyse du travail réel dans des situations de référence (Burkhardt & Sperandio, 2004; Daniellou, 2004). Il

4. En ergonomie les utilisateurs font référence à l'ensemble des parties prenantes.

s'agit de situations présentant des caractéristiques similaires et comparables à la situation de travail envisagée. Dans le cadre de l'introduction d'un nouveau système informatique ou de l'informatisation d'une tâche, la situation de référence est la situation actuelle. Dans le cas d'un nouveau système, la situation de référence renvoie à une situation analogue à la situation future envisagée avec le nouveau système. Les analyses du travail menées dans ce cadre renvoient généralement à l'utilisation d'un ensemble de techniques diverses permettant d'accéder aux éléments conscients et inconscients de l'activité des opérateurs ainsi qu'aux éléments de la situation pertinents à prendre en compte par la conception (voir par exemple, Bisseret et al., 1999, ou Chapanis, op. cit. pour un éventail de techniques). Plus particulièrement, au cours de ces analyses, trois éléments doivent être particulièrement mis en lumière :

- les caractéristiques organisationnelles, techniques ou physiques (température, bruit, humidité) des situations (Daniellou, 2004; ISO 13407, 1999). Il s'agit de découvrir, par exemple, des contraintes logicielles et matérielles avec lesquelles le nouveau système sera en interaction et devra être compatible (Bastien & Scapin, 2004; ISO 13407, 1999) ou encore les tâches prescrites des opérateurs dans le nouveau système ;
- les éléments structurants de l'activité des utilisateurs : les objectifs qu'ils poursuivent, les ressources (informations, temps, etc.) nécessaires pour les atteindre, les modes opératoires utilisés et les difficultés associées (Maguire, 2001; Bastien & Scapin, 2004; Burkhardt & Sperandio, 2004), ainsi que les tâches dont il faut fiabiliser la réalisation pour des raisons de sécurité (Jeffroy, 1993). Dans cette optique, il est également nécessaire d'identifier les stratégies facilitant la réalisation des tâches, c'est-à-dire les stratégies à ne pas remettre en cause par l'introduction du nouveau système (Bastien & Scapin, 2004; Burkhardt & Sperandio, 2004; Mumaw et al., 2000; Notte, 1993; Vicente et al., 2001; Jeffroy, 1993). Les éléments structurants de l'activité renvoient donc (1) aux éléments de l'activité à préserver et/ou à prendre en compte, et (2) aux limites du système humain-machine de référence. Ces besoins sont découverts par l'analyse du travail en situation de référence, en dégageant les éléments de l'activité qui perdureront ou devront perdurer avec ou dans le nouveau système (Daniellou, 2004), et par l'analyse de l'activité future probable. Celle-ci peut être anticipée par l'évaluation itérative des solutions de conception sous forme de prototype (Jeffroy, 1993; Burkhardt & Sperandio, 2004) ou la simulation du travail futur (Béguin & Weill-Fassina, 1997; Daniellou, 2004; Garrigou et al., 2001). Ces mises en situation avec le système envisagé constituent d'ailleurs un moment privilégié pour l'identification de besoins des futurs utilisateurs (Anastassova, 2006).
- les caractéristiques physiques (âge, sexe, taille, etc.) et cognitives (connaissances, compétences, expériences, etc.) des futurs utilisateurs (ISO 13407, 1999; Maguire, 2001; Bastien & Scapin, 2004). Il s'agit ici de déterminer les éléments permettant d'adapter le futur système à ses utilisateurs. Il est ainsi nécessaire de connaître les utilisateurs potentiels du système. Dans le cadre de l'introduction d'un nouveau système dans une situation existante, la population actuelle est la population future⁵.

Par ailleurs, les ergonomes peuvent extrapoler des besoins à partir de connaissances scientifiques (Burkhardt & Sperandio, 2004; Daniellou, 2004; Lamonde, 2004) :

5. Il faut cependant, prévoir l'évolution de ses caractéristiques avec le temps.

- issues de la littérature en ergonomie sur des situations analogues à la situation envisagée. Par exemple, les connaissances de la littérature sur la conduite d'installations à process continus proviennent essentiellement de recherches sur la conduite de hauts fourneaux (Hoc, 1989) ou de la conduite de mobiles comme les avions (Amalberti, 1996). Elles sont cependant largement applicables à l'industrie nucléaire.
- sur le fonctionnement général de l'humain en activité finalisé. Le courant « human-factors » de l'ergonomie s'est d'ailleurs particulièrement focalisé sur la production de ce type de connaissances (voir par exemple, Wickens & Hollands, 1999). Ces connaissances sont généralement acquises par l'ergonome au cours de sa formation initiale, et tout au long de son parcours professionnel par le biais de lectures (Mazeau, 2003).

Enfin, pour déterminer les besoins, les ergonomes se basent sur des « bibliothèques de situations » classées par domaine (par exemple aviation, nucléaire) ou type de situation (par exemple, contrôle de procédé industriel, travail à la chaîne) forgées au cours des diverses interventions menées (Daniellou, 2004).

Par rapport aux autres disciplines, les besoins ne sont donc pas identifiés à partir d'une représentation de la situation pouvant être plus ou moins éloignée de la situation réelle. Ils sont fondés sur des analyses du travail réel, des connaissances scientifiques et des connaissances issues de l'expérience de l'ergonome.

3.1.3 Description des propriétés, caractéristiques et fonctions attendues de l'artefact

Dans cette section nous définissons les termes employés par les différentes disciplines pour décrire les propriétés, caractéristiques et fonctions attendues de l'artefact en conception.

3.1.3.1 En conception de produits : les fonctions de service et les fonctions contraintes

Une fois les besoins validés, les concepteurs doivent les traduire en termes de fonctions que le produit devra posséder (figure 3.1, Aoussat & Le Coq, 1998). Il existe deux principales catégories de fonctions : les fonctions relatives à l'utilisation du produit et les fonctions techniques. Les fonctions techniques décrivent les interactions entre les composants du produit et permettant d'assurer les fonctions relatives à l'utilisation.

Les fonctions relatives à l'utilisation lient des entités du monde extérieur au produit. Par exemple, pour un produit « marteau », la fonction « enfoncer un clou » lie l'utilisateur du produit à un élément du monde extérieur, par exemple, une planche en bois. L'action exercée par la fonction peut être active (par exemple, enfoncer un clou) ou passive (par exemple, résister au chocs). Par ailleurs, dans la conception de produit, une fonction renvoie également à une caractéristique (par exemple, la taille) ou une propriété de l'objet (par exemple, être rouge).

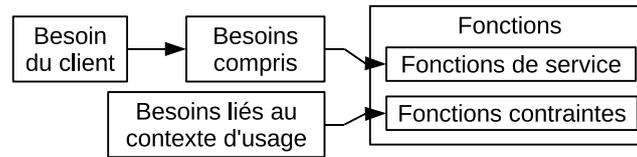


Figure 3.1 – Évolution des besoins vers les fonctions en conception de produit.

La norme NF X50-100 (1996) distingue deux types de fonctions relatives à l'utilisation : les fonctions de services et les fonctions contraintes. Les fonctions de services (ou fonctions principales, Yannou, 1998) sont les fonctions attendues du produit, celles pour lesquelles il a été créé, celles qui répondent au besoin explicite du client, qui lui rendent un service. Le produit final doit remplir cette ou ces fonctions. Il existe quatre types de fonctions de services (Aoussat & Le Coq, 1998) :

- la fonction d'usage : renvoie à l'utilité de l'artefact et à la qualité du service rendu ;
- la fonction d'échange : correspond au sacrifice toléré par le consommateur pour entrer en possession de l'artefact ;
- la fonction esthétique : caractérise l'esthétique de l'artefact ;
- la fonction d'estime : fait référence à l'image de marque de l'artefact ;

Dans ce cadre, et contrairement aux autres approches citées dans la suite du document, une fonction n'est pas uniquement définie pour accomplir un but dans le cadre d'une activité professionnelle. Cette classification prend en compte d'autres dimensions du produit, comme des aspects esthétiques, voire hédoniques. Il ne s'agit pas uniquement de concevoir pour des utilisateurs, mais aussi pour des consommateurs. Ici, les utilisateurs ont le choix des dispositifs qu'ils veulent acquérir. Les différentes fonctions identifiées ont une visée commerciale.

Les fonctions contraintes sont les propriétés, caractéristiques ou actions du produit nécessaires pour son utilisation dans l'environnement prévu d'utilisation. Elles proviennent des contraintes imposées par les éléments du milieu extérieur à l'artefact, c'est-à-dire son importance vis-à-vis de la satisfaction des besoins (Yannou, op. cit.). Les concepteurs doivent prendre ces contraintes en compte pour que l'artefact soit utilisable dans son contexte. Cependant, les auteurs ne proposent pas de catégorisation des types de contraintes à prendre en compte.

En fait, la définition des fonctions de service et des fonctions contraintes confond deux dimensions distinctes. Comme nous l'avons vu, les fonctions décrivent des actions de l'artefact. Or, la distinction service/contrainte ne qualifie pas le type d'action. Elle renvoie à l'origine, au « pourquoi » de la fonction. Ainsi, les fonctions de service proviennent du besoin initial (ou fondamental) exprimé par le client, et les fonctions contraintes proviennent des contraintes imposées par l'environnement extérieur sur l'artefact.

La traduction du besoin initial en fonction est généralement appelée « analyse fonctionnelle » (AF) du besoin. La norme NF X50-100 (1996) définit l'analyse fonctionnelle comme la « démarche qui décrit complètement les fonctions et leurs relations ». L'action attendue de la fonction et les éléments sur lesquels elle agit doivent être décrits. Une fonction doit également être caractérisée qualitativement ou quantitativement par des critères d'appréciation. Une fonction est validée lorsque son bien-fondé (évalué à travers

cette description) est avéré. Les fonctions doivent être organisées ou structurées, c'est-à-dire que le lien entre les fonctions doit être établi. Enfin, l'importance de chaque fonction doit être évaluée afin d'en analyser la valeur (Yannou, 1998).

Le passage du besoin fondamental aux fonctions (l'analyse fonctionnelle) peut être outillé. Une technique largement plébiscitée dans la littérature (par exemple, Yannou, 1998) est l'outil « Pieuvre » de la société APTE (<http://www.apte.fr>). L'outil « Pieuvre » aide à découvrir les liens entre l'artefact et les éléments du monde extérieur, autrement dit, les fonctions. Cette découverte repose principalement sur l'imagination des concepteurs, et donc, notamment sur leur représentation du monde.

L'analyse fonctionnelle des besoins ne vise pas à décrire la solution technique retenue pour répondre au besoin, c'est-à-dire la manière dont les fonctions seront concrètement réalisées par l'artefact. Il s'agit de préciser ce que l'artefact fera et non son fonctionnement. L'ensemble de ces éléments est contenu dans le cahier des charges fonctionnel (Aoussat, op. cit., NF X50-100, 1996).

Dans ce processus de construction et de traduction des besoins en fonctions, les utilisateurs finaux sont peu représentés. Ils interviennent indirectement à travers le client (c'est-à-dire les décideurs, rarement les utilisateurs finaux) voire le département marketing censé comprendre leurs besoins. De plus, même si les auteurs reconnaissent l'importance d'une équipe pluridisciplinaire (et, notamment, de l'ergonomie), ils décrivent peu les apports réciproques et l'articulation du travail entre les spécialistes de ces disciplines.

Par ailleurs, l'analyse fonctionnelle et les techniques associées sont basées sur la représentation des concepteurs. Ces derniers dérivent les fonctions depuis la représentation mentale qu'ils ont des utilisateurs, de leurs besoins (Darses & Wolff, 2006) et du contexte futur d'utilisation. Les concepteurs se servent également de leur propre expérience d'utilisateur pour concevoir (Darses & Wolff, op. cit.; Nicolas, 2000). Cette représentation peut cependant être éloignée de la réalité puisqu'elle n'est pas forcément étayée par une analyse fondée sur la participation des utilisateurs, sous quelque forme que ce soit.

Hormis la distinction entre fonctions de service et fonctions contraintes, Pahl & Beitz (1996) classent les fonctions selon leur niveau d'importance. Si les fonctions de service et les fonctions contraintes doivent être prises en compte, les auteurs parlent également d'exigences facultatives. Celles-ci seront prises en compte par les concepteurs selon leurs ressources (budget, temps) disponibles.

3.1.3.2 En ingénierie système : les exigences

En ingénierie système, les besoins des parties prenantes doivent être traduits en terme d'exigences que le système devra satisfaire (de l'anglais requirement, Blanchard, 2008). Les exigences renvoient à ce que le système doit faire ou avoir comme caractéristique pour répondre aux besoins des parties prenantes (Bahill & Dean, 2009). Les exigences ne décrivent pas comment le système doit les réaliser. Une exigence décrit une relation « désirée » entre des entités de l'environnement, du système (Jackson & Zave, 1995), par exemple, entre des opérateurs et le monde physique environnant. Les exigences sont donc équivalentes aux « fonctions » de la conception de produit. La figure 3.2 reprend ces aspects.

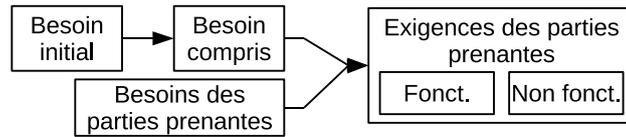


Figure 3.2 – Évolution des besoins vers les exigences en ingénierie système.

Le travail des concepteurs est de recueillir les besoins, de les traduire en exigences et de les valider auprès des parties prenantes concernées. Cependant, les exigences ne sont généralement pas toutes implémentées, car elles peuvent porter des obligations contradictoires. Les concepteurs devront donc faire des compromis entre les exigences incompatibles. Des méthodes pour aider les concepteurs existent, comme la méthode Quality Function Deployment (déploiement des fonctions qualité, Akao, 1990).

L'ingénierie des systèmes vise la conception de dispositifs composés d'humains et de machines (Sage & Rouse, 2009). Les exigences concernent donc aussi bien les machines en conception (par exemple, fonctions, performances) que les humains (par exemple, connaissances, caractéristiques anthropométriques) ou l'organisation (par exemple, type de formations, répartition des tâches entre les opérateurs).

Classiquement, deux grandes catégories d'exigences sont décrites. Chacune d'elle renvoie à des dimensions différentes du futur système. Les auteurs distinguent ce qui est fonctionnel de ce qui ne l'est pas (Zave, 1997; Robertson, 2001). La dimension fonctionnelle renvoie à l'utilité d'un dispositif : à quoi il sert, ce qu'il fait, doit faire ou permettre de faire. Par exemple, une exigence fonctionnelle classique dans un traitement de texte est de sauvegarder le document en cours d'édition. La dimension non fonctionnelle correspond aux propriétés et aux caractéristiques du dispositif sur des dimensions de performance (précision, rapidité, etc.), de sécurité, d'utilisabilité, mais aussi l'interface des fonctions (NASA, 2007; Robertson, 2001). Par exemple, un système de traitement de texte ne doit pas perdre les données entrées au cours de l'édition, même en cas d'erreur d'exécution du programme.

Perpendiculairement à la distinction fonctionnelle/non fonctionnelle, Robertson (2001) propose une classification psychologique des exigences. Selon l'auteur, il existe des exigences :

- conscientes (conscious requirement), qui peuvent être exprimées directement par les utilisateurs (ou une autre partie prenante).
- non conscientes (non-conscious requirement), qui ne sont pas formulées directement par les utilisateurs. L'utilisateur n'exprime pas explicitement ce type d'exigence (fonctionnel ou non) car celle-ci est déjà remplie par un dispositif existant et il lui paraît incongru que le nouveau dispositif n'en dispose pas (par exemple, rembobiner les cassettes pour un magnétoscope). Ces exigences doivent être déduites par l'analyste. Elles peuvent également être exprimées par les utilisateurs lors de l'évaluation de prototypes.
- inespérées/non envisagées (undreamt-of requirement) : les utilisateurs expriment leurs exigences selon leur représentation des possibilités techniques offertes par le nouveau système. Ces exigences apparaissent donc généralement tard dans le processus de conception, lorsque l'espace des possibles est connu des utilisateurs. Ceux-ci peuvent être introduits par d'autres concepteurs, plus experts de la tech-

nique.

Le travail de l'analyste semble différent selon le type d'exigence considéré. Les exigences conscientes peuvent être directement recueillies par l'analyste. Par contre, les analystes doivent déduire les exigences non conscientes et les exigences latentes doivent être extrapolées par l'analyste ou exprimées par les utilisateurs lorsqu'ils disposent de suffisamment de connaissances sur la technologie envisagée. Ainsi, si des tests permettent aux utilisateurs d'exprimer des exigences latentes, les auteurs ne précisent pas d'où les concepteurs peuvent déduire les exigences non conscientes.

Les deux dernières catégories d'exigences font apparaître la nécessité de passer outre un recueil basé uniquement sur des entretiens ou des questionnaires, ces derniers permettant seulement d'accéder aux besoins conscients. Or, excepté pour certains auteurs faisant intervenir les méthodes ethnographiques en conception (Sommerville et al., 1993; Viller & Sommerville, 1999), les méthodes les plus citées pour identifier les exigences tournent autour des entretiens (par exemple, Goguen & Linde, 1993). Or, sauf exception (par exemple, l'entretien d'explicitation de Vermersch, 1991), les entretiens ne permettent pas de s'affranchir de la représentation consciente des interviewés (Ericsson & Simon, 1993). Par conséquent, l'accès aux exigences non conscientes est difficile. Par contre, les tests de prototypes (Anastassova et al., 2007), les méthodes ethnographiques ou les méthodes traditionnellement utilisées en ergonomie permettent de compléter le recueil et l'expression de ces exigences.

3.1.3.3 En ergonomie : les exigences et les prescriptions faibles

Comme pour les besoins, selon le domaine d'application, les termes utilisés pour désigner la description des fonctions, caractéristiques et propriétés envisagées de l'artefact sont différents. En ergonomie des situations de travail (cf. figure 3.3), les éléments décrivant les caractéristiques, propriétés ou fonctions d'un système sont appelés des repères prescriptifs (Daniellou, 2004). Deux niveaux de prescriptions sont distingués (Lamonde, 2004). Les prescriptions faibles décrivent des fonctions ou des caractéristiques sans les détailler finement ou les quantifier. L'auteur prend pour exemple « *le dispositif devra être adapté à la clientèle à chaise roulante* ». Les prescriptions fortes seront abordées dans la section suivante.

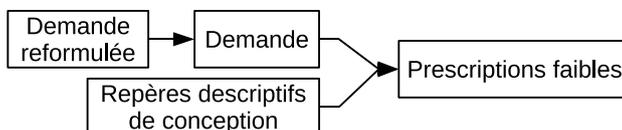


Figure 3.3 – Évolution de la demande vers les prescriptions fortes en ergonomie des situations de travail.

Dans l'ergonomie des systèmes informatiques, les fonctions, caractéristiques et propriétés souhaitées du système (cf. figure 3.4) sont nommées exigences (Bastien & Scapin, 2004; Chapanis, 1996; Maguire, 1998; Maguire & Bevan, 2002). L'ensemble des exigences ou prescriptions faibles de l'ergonome ne provient pas uniquement des besoins qu'il a identifiés. L'ergonome, par le biais de techniques d'entretien ou la mise en place d'évaluation de

prototype (Anastassova, 2006), peut également les recueillir auprès des utilisateurs. Pour englober les exigences traduites des besoins par l'ergonome et les exigences exprimées directement par les utilisateurs et recueillies par l'ergonome, nous parlerons d'exigences formulées. Cependant, la littérature souligne qu'une exigence formulée n'est pas forcément implémentée et prise en compte dans le système (Wulff et al., 1999b). C'est généralement au moment de la réalisation technique et concrète (maquettage, prototypage) qu'une exigence est finalement rejetée (Loup-Escande, 2010).

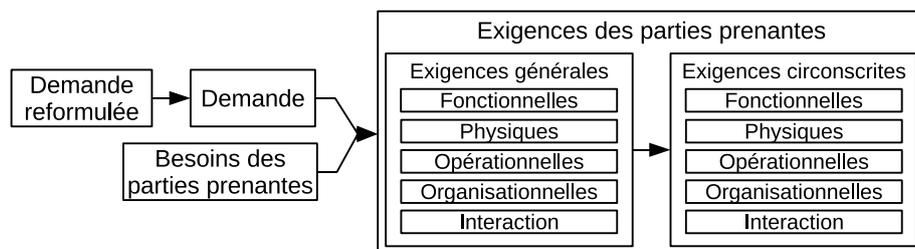


Figure 3.4 – Évolution de la demande vers les exigences en ergonomie des systèmes informatiques.

Chapanis (1996) distingue deux niveaux d'abstraction dans la définition des exigences, correspondant à deux temps du processus de conception (figure 3.4). Premièrement, selon l'auteur, il est nécessaire de dégager des exigences « générales ». Celles-ci concernent le système dans sa globalité, l'impactant et l'orientant dans son ensemble. Une partie de ces exigences peut être apportée par le client, charge à l'ergonome de les compléter. Par exemple, « le système doit être facile d'utilisation » ou « le système doit assister l'utilisateur dans la rédaction de document » sont des exigences générales. Ensuite, l'auteur précise qu'il faut définir des exigences « spécifiques ». Il s'agit d'exigences décrivant les propriétés, caractéristiques et fonctions des différentes parties du système. Par exemple, « le système doit permettre à l'utilisateur de sauvegarder son document en cours d'édition » est une exigence spécifique. Pour éviter l'amalgame entre les spécifications (section 3.2) et les exigences « spécifiques », nous emploierons le terme d'exigences « circonscrites » pour les désigner.

En plus du niveau d'abstraction, pour Chapanis (1996) et Maguire (2001) les exigences font référence à cinq dimensions distinctes du système :

- les exigences physiques décrivent le système, son architecture, sa forme, sa taille, ses constituants. Il s'agit d'une description physique du système ;
- les exigences fonctionnelles évoquent ce que le système doit et permet de faire aux utilisateurs ;
- les exigences opérationnelles décrivent les exigences de performance, de fiabilité, de précision du système, et les conditions d'opérabilité du système, etc. Autrement dit, il s'agit d'exigences influençant l'usage du système ou évoquant son contexte d'utilisation ;
- les exigences organisationnelles décrivent le nombre d'opérateurs requis, le niveau de compétence et les formations nécessaires pour l'utilisation du système ;
- les exigences d'interaction décrivent la manière dont l'utilisateur va interagir avec

le futur système. Elles sont directement liées à l'utilisabilité du système⁶.

L'artefact en conception est le système dans sa globalité. Outre les éléments classiques comme le fonctionnel et l'opérationnel, il est donc aussi nécessaire d'identifier des exigences organisationnelles. Il s'agit là d'un des éléments clés et l'une des spécificités du rôle de l'ergonome. En effet, l'ingénierie système aborde peu cet aspect. Même si elle vise la conception de systèmes humain-machine complets, les exigences organisationnelles sont rarement citées par les auteurs.

Enfin, comme dans les disciplines du génie, les exigences en ergonomie ne décrivent pas comment elles seront prises en compte concrètement dans le système. Par exemple, considérons l'exigence « le système doit permettre à l'utilisateur de sauvegarder son document en cours d'édition ». À ce stade de l'analyse des besoins, la manière dont l'utilisateur pourra effectivement réaliser sa sauvegarde n'est pas décrite.

3.2 Les spécifications de conception

Quel que soit la discipline, les spécifications sont la forme la plus concrète de description du système ou du produit. Il s'agit de décrire de manière détaillée le système répondant aux exigences. Spécifier le système consiste à préciser les exigences et décrire le fonctionnement du système.

Cependant, les spécifications ne représentent qu'une des réponses possibles aux exigences et aux besoins. De plus, satisfaire l'ensemble des exigences n'est pas forcément réalisable compte tenu des ressources allouées au projet ou des possibilités techniques (Wulff et al., 1999a). Les spécifications sont le résultat d'un compromis entre l'espace des besoins et des exigences d'un côté, et l'espace des possibles de l'autre. Nous abordons ce sujet plus en détail dans la section 3.5.

3.2.1 Les spécifications en ingénierie

Dans les disciplines du génie, les spécifications possèdent les mêmes propriétés. Ici, nous ne distinguons donc pas l'ingénierie des systèmes et l'ingénierie de la conception.

Alors que les besoins et les exigences sont plutôt définis en référence à l'ensemble du système de travail (humains, artefacts, etc.) et les liens désirés ou nécessaires entre ses éléments, les spécifications renvoient uniquement à la machine (Jackson, 1995). Il s'agit d'une « description implémentable du comportement d'une machine assurant la satisfaction des exigences de conception » (Jackson & Zave, 1995). Selon Pahl & Beitz (1996) les concepteurs doivent esquisser le système sur le plan conceptuel (principe de fonctionnement de la solution), structurel (découpage des fonctions en sous fonctions, architecture des fonctions) et physique (forme, couleur, taille, etc.).

Les spécifications sont dérivées des exigences (Pahl & Beitz, 1996). C'est aux concepteurs de faire cette « traduction » des exigences en spécifications (figures 3.5 et 3.6). Elles seront

6. D'autres dimensions, comme la dimension opérationnelle, influent également sur l'utilisabilité, notamment à travers la notion de performance rattachée à cette dimension.

ensuite consignées dans le cahier des charges concepteurs (Aoussat & Le Coq, 1998). Ce document sera alors transmis pour réalisation ou développement vers une autre équipe de concepteurs. À partir des spécifications, un artefact ou un système doit pouvoir être développé ou construit.

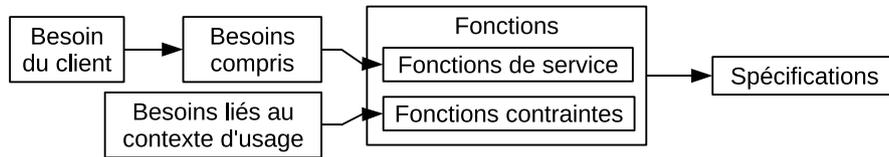


Figure 3.5 – Position des spécifications dans le processus d’analyse des besoins selon une perspective de conception de produits.

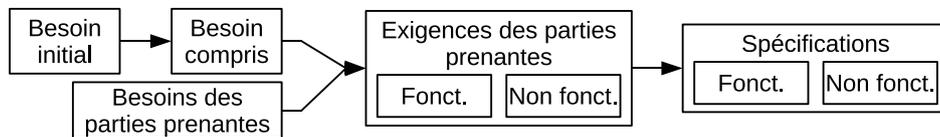


Figure 3.6 – Position des spécifications dans le processus d’analyse des besoins selon une perspective d’ingénierie système.

Par rapport aux exigences, les spécifications doivent être qualifiées et quantifiées à l’aide de critères permettant d’apprécier si la spécification a correctement été implémentée par les développeurs ou fournisseurs. Par exemple, pour l’exigence « la plateforme doit supporter le poids de 10 opérateurs outillés », les spécifications correspondantes sont « la plateforme doit, au minimum, supporter un poids de 1500 kg » et « la plateforme sera construite en acier de type XX ». Il s’agit donc de donner une réponse précise et concrète à une exigence.

Les spécifications sont, comme les exigences, aussi bien fonctionnelles que non fonctionnelles. Concernant les spécifications fonctionnelles, la méthode SADT (Structured Analysis and Design Technique, Ross, 1977) est certainement une des plus connues et utilisées (voir figure 3.7).

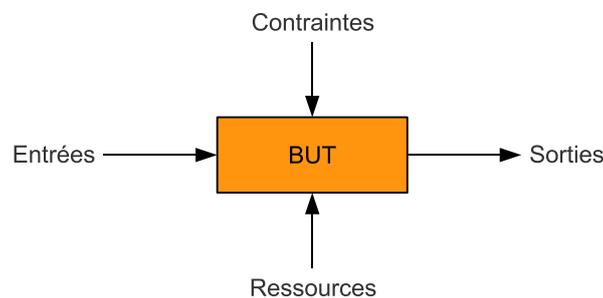


Figure 3.7 – Représentation d’une fonction dans SADT.

Dans SADT, les entités composant une fonction sont définies de cette manière :

- Le but de la fonction correspond à ce que la fonction fait, du point de vue de la

machine. Par exemple, pour une calculatrice, le but est d'effectuer des opérations mathématiques.

- les entrées sont ce que la fonction « consomme ». En informatique, ce sont les données que le logiciel va traiter et transformer. Par exemple, pour faire une division avec une calculatrice, il est nécessaire d'entrer les éléments du calcul souhaité, comme « $10 \div 2$ », afin que la calculatrice traite l'opération ;
- les sorties sont ce que la fonction produit. En informatique, ce sont les données renvoyées par l'utilisation de la fonction. Par exemple, en reprenant l'exemple précédent, la calculatrice va calculer la division et afficher « 5 » ;
- les contraintes renvoient à l'ensemble des conditions et des règles qui contrôlent la transformation réalisée par la fonction. Par exemple, une calculatrice doit vérifier un certain nombre de règles de calcul pour effectuer celui-ci. Dans notre exemple de la division, la calculatrice doit vérifier que le dénominateur n'est pas égal à 0 ;
- les ressources correspondent à l'ensemble des éléments nécessaires à la transformation des entrées en sorties. Par exemple, dans une application de simulation, une ressource centrale est le modèle qui va prédire les sorties à partir des données d'entrée. Dans l'exemple de la calculatrice, les ressources renvoient à l'ensemble des instructions informatiques permettant d'effectuer des calculs.

Pour résumer, une fonction est ce qui transforme les entrées en sorties, en utilisant des ressources dont le fonctionnement est contraint par des règles et des conditions. Les spécifications fonctionnelles doivent donc définir l'ensemble de ces éléments.

Les spécifications non fonctionnelles sont exprimées de manière très différente selon leur type. Par exemple, dans le bâtiment, les spécifications rédigées par l'architecte sont formalisées à travers des plans cotés en vue d'être transmis au constructeur chargé de réaliser l'ouvrage. En ingénierie, afin de les qualifier et de les quantifier, les spécifications sont souvent exprimées de manière formelle (Jackson & Zave, 1995), à l'aide d'un langage mathématique, logique ou autre. Par exemple, en informatique, le langage UML (Unified Modelling Language, Booch et al., 1998) est très répandu pour décrire des scénarios d'utilisation.

L'ensemble de ces éléments montre que l'ingénierie distingue fondamentalement deux aspects des spécifications. D'une part, les spécifications quantifient précisément les exigences en donnant des critères numériques. D'autre part, les spécifications décrivent le fonctionnement du système. C'est ce que nous nommons « qualifier » les fonctions. Cependant, ces deux aspects sont peu différenciés en ingénierie.

3.2.2 Les spécifications en ergonomie

Longtemps, en ergonomie, les travaux et les manuels de référence sur l'intervention ergonomique se sont focalisés sur le diagnostic. Des ouvrages de référence comme « comprendre le travail pour le transformer » de Guérin et al. (1997) et « ergonomie, concepts et méthodes » de Rabardel et al. (1998) consacrent peu de place à la phase « transformation » de l'intervention ergonomique. La contribution aux spécifications n'y est pas du tout abordée.

Concernant le courant des facteurs humains, la participation des ergonomes à la conception est généralement absente. Comme nous le verrons ultérieurement (section 3.4),

ce courant de l'ergonomie s'est plutôt focalisé sur la production de connaissances sur l'homme au travail (souvent dans des conditions de laboratoire). Ces connaissances n'ont pas vocation à être utilisées par les ergonomes, mais plutôt par les concepteurs (Chapanis, 1996). Ainsi, l'ergonome reste cantonné à la production de connaissance et non à la production de documents de conception, et, à fortiori, des spécifications.

Cependant, depuis le début des années 1990, la littérature rapporte des exemples d'ergonomes, plus particulièrement dans le domaine informatique, contribuant à la rédaction des spécifications (par exemple, Burns & Vicente, 2000; Février-Quesada et al., 2003; Notte, 1993; Sperandio, 1993). Cependant, ces derniers restent souvent cantonnés à la spécification des interfaces (Burkhardt & Sperandio, 2004). Depuis les années 2000, en ergonomie des situations de travail, la participation des ergonomes à la construction des spécifications entre dans les manuels. Les auteurs utilisent le terme de « prescription forte » (Daniellou, 2004; Lamonde, 2000, 2004) pour les évoquer (figure 3.8).

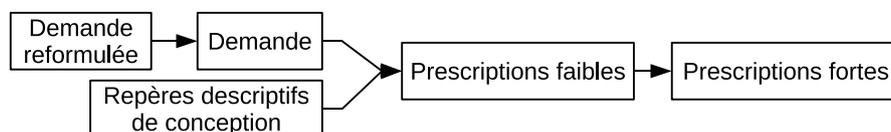


Figure 3.8 – Position des prescriptions fortes dans le processus d'analyse des besoins en ergonomie des situations de travail.

Pour Chapanis (1996), les spécifications doivent être suffisamment précises pour être utilisables par les autres concepteurs et donc implémentables sous forme concrète (que ce soit un logiciel ou un bâtiment). Les spécifications des fonctions et des propriétés du système doivent être quantifiées et qualifiées à l'aide de critères (Chapanis, 1996; Maguire & Bevan, 2002; Wulff et al., 1999b). Cependant, pour ces auteurs, la tâche de l'ergonome ne s'arrête pas là. Ici, le processus de spécification inclut la répartition des tâches entre les humains et les machines (Maguire & Bevan, 2002), et la répartition des tâches entre les humains (Chapanis, 1996).

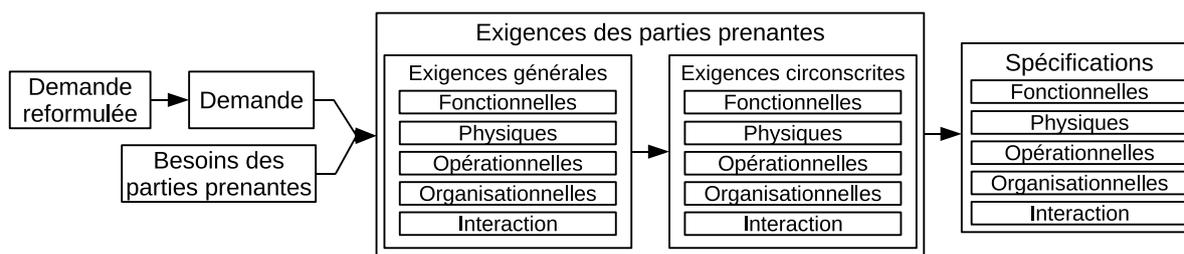


Figure 3.9 – Les spécifications dans le processus d'analyse des besoins en ergonomie des systèmes informatiques.

Chapanis (1996) distingue, comme pour les exigences, différents types de spécifications (figure 3.9). La classification est identique à celle des exigences : spécifications fonctionnelles, physiques, organisationnelles et opérationnelles. D'autres auteurs (par exemple, Burkhardt & Sperandio, 2004) parlent aussi de spécification d'interface.

Comme en ingénierie, les moyens de formaliser les spécifications sont différents selon le type considéré. Par exemple, pour l'expression de spécifications fonctionnelles dans la

conception d'un système informatique, Février-Quesada et al. (2003) ont utilisé, à l'aide d'informaticiens du projet, un langage répandu dans la conception informatique : l'UML (Booch et al., 1998). Pour les spécifications d'interface, Maguire (1998) recommande l'utilisation de maquettes. Leur avantage est de pouvoir être montrées aux utilisateurs. De cette manière, ces derniers peuvent mieux comprendre les spécifications et détecter d'éventuels problèmes. En plus d'être des outils de communication vers les concepteurs chargés du développement, les maquettes permettent également l'évaluation du système avec les utilisateurs.

Par ailleurs, une différence supplémentaire a été introduite pour les spécifications fonctionnelles. Maguire (1998), Diaper (2004), et Chapanis (1996) distinguent les « fonctions utilisateur » des « fonctions système ». Les premières correspondent à la description de ce que le système fait du point de vue de l'utilisateur. Dans un contexte informatique, il s'agit des fonctions accessibles aux utilisateurs via l'interface. Par exemple, dans un logiciel de traitement de texte, la fonction de sauvegarde est une fonction utilisateur. Les « fonctions système » décrivent le fonctionnement de la machine pour réaliser les « fonctions utilisateur ». Par exemple, à la fonction utilisateur « sauvegarde », correspond une fonction système « écriture des données sur le disque ». Autrement dit, les « fonctions utilisateur » renvoient au « quoi », tandis que les « fonctions système » répondent au « comment ». D'après ces auteurs, le travail de l'ergonome se situe dans la description des « fonctions utilisateur ».

Dans les disciplines du génie, les spécifications fonctionnelles ne décrivent pas uniquement ce que la fonction fait du point de vue de l'utilisateur. Une fonction est composée d'un but, d'entrées, de sorties, de contraintes et de ressources utilisées. Décrire l'ensemble de ces éléments fonctionnels est nécessaire pour spécifier complètement une fonction.

Or, pour participer à la conception, l'ergonome doit être co-concepteur. Il doit travailler avec les autres acteurs de la conception. Ainsi, il semble important de faire correspondre les termes employés dans les différentes disciplines. Si les « fonctions système » de l'ergonomie peuvent renvoyer aux ressources des fonctions en ingénierie, la correspondance entre les autres éléments fonctionnels et les « fonctions utilisateur » n'est pas aisée. Les auteurs restent vagues sur les éléments du système auxquels ces fonctions correspondent. De plus, à notre connaissance, la littérature ne rapporte pas d'informations sur les éléments fonctionnels définis par les ergonomes.

Ainsi, l'ergonomie dispose de connaissances limitées sur la participation des ergonomes aux spécifications. Les modèles utilisés n'ont pas la précision des modèles de l'ingénierie. S'appuyer sur ces derniers, comme SADT, pour analyser la participation des ergonomes aux spécifications fonctionnelles permettrait donc d'affiner les connaissances sur ces aspects de l'intervention en position de co-conception⁷.

7. SADT a également inspiré d'autres modèles produits en sciences humaines. Par exemple, l'approche fonctionnelle est utilisée dans la méthode FRAM (Functional Resonance Accident Model, Hollnagel, 2004, chapitre 5, p.173) pour modéliser les composants des systèmes humain-machine, et notamment modéliser les activités humaines.

3.3 Vers un cadre conceptuel pour l'analyse des besoins

Comme nous l'avons vu, les disciplines du génie et l'ergonomie ont une vision et des définitions différentes des besoins, des exigences et des spécifications, celles-ci étant plus ou moins éloignées. Cependant, de nombreuses similarités et correspondances entre toutes les disciplines existent. Après les avoir présentées, nous donnons les définitions retenues pour le reste de la thèse.

3.3.1 Synthèse des différences et similitudes entre les termes utilisés en analyse des besoins

Le vocabulaire utilisé dans les disciplines pour exprimer les concepts de l'analyse des besoins présente, à notre sens, quatre similarités principales (tableau 3.1) :

1. Les besoins (ou leur équivalent) sont systématiquement traduits en exigences (ou leur équivalent).
2. Les exigences (ou leur équivalent) sont, ensuite, traduites en spécifications (ou leur équivalent).
3. Le besoin du client (ou de son équivalent) est toujours re-interprété (reformulé ou compris) par les concepteurs.
4. Besoins et exigences sont indépendants de la solution technique décrite par les spécifications.

Concept	Ingénierie de conception	Ingénierie système	Ergonomie des systèmes informatiques	Ergonomie des situations de travail
Expression de la volonté relative au futur exprimée par un mandant	Besoin	Besoin initial, mission	Demande	Demande
Expression de la volonté relative au futur vue par les concepteurs	Besoin reformulé	Besoin compris	Demande reformulée	Demande reformulée
Justification de ce que devra faire le futur artefact	<i>Aucun terme spécifique</i>	<i>Aucun terme spécifique</i>	Besoins des parties prenantes	Repères descriptifs
Description générale de ce que l'artefact devra faire	Fonction de service	Exigences fonctionnelles et non fonctionnelles	Exigences fonctionnelles et non fonctionnelles	Prescription faible
Description de ce que l'artefact devra faire ou avoir comme propriété pour fonctionner dans l'environnement d'utilisation	Fonction contrainte			
Description détaillée de ce que l'artefact devra faire ou avoir comme propriétés	Spécifications	Spécifications fonctionnelles et non fonctionnelles	Spécifications des fonctions utilisateurs	Prescription forte
Description du fonctionnement de l'artefact			Spécification des fonctions système	

TABLEAU 3.1 – Correspondance des termes utilisés pour exprimer les concepts relatifs à l'analyse des besoins.

A contrario, quatre différences majeures ont été identifiées entre les disciplines :

1. Contrairement à l'ensemble des autres disciplines, l'ingénierie de la conception n'élargit pas le recueil des besoins à l'ensemble des parties prenantes concernées par la conception. Même si, en ergonomie des situations de travail, le terme « partie prenante » est peu employé, élargir le recueil d'information à l'ensemble des personnes concernées est communément admis comme faisant partie intégrante de la démarche ergonomique.
2. L'ingénierie de la conception est la seule discipline différenciant les exigences par leur origine (besoin du client vs. contraintes liées à l'environnement). La notion de fonction de service encapsule la source de la fonction, c'est-à-dire le besoin du client. Excepté l'ergonomie des situations de travail, les autres disciplines distinguent plutôt les types d'exigences : fonctionnelles vs. non fonctionnelles.
3. Même si l'ensemble des disciplines fait la distinction entre la demande initiale (ou son équivalent) et la manière dont elle est appréhendée par les concepteurs, cette étape est une des charnières de l'intervention ergonomique. En ingénierie, le produit doit répondre au besoin initial. Il n'est pas question de le remettre en cause. Il faut l'affiner et s'assurer que les concepteurs ont bien compris ce qu'il devaient faire. En ergonomie, il s'agit également de remettre en question le bien-fondé de la demande elle-même (Guérin et al., 1997)
4. Enfin, l'analyse du tableau récapitulatif montre une certaine divergence entre les termes utilisés dans la littérature en ergonomie des situations de travail et les autres disciplines. Il peut être alors difficile pour les ergonomes et les autres concepteurs de trouver un langage commun (voir section 3.5).

3.3.2 Des besoins aux exigences et jusqu'aux spécifications

Au vu des éléments présentés ci-dessus, voici les définitions retenues de chacun des termes qualifiant l'évolution des besoins vers les spécifications pour le reste de la thèse.

Avant cela, il est nécessaire de préciser notre posture. Nous nous plaçons dans une perspective de conception de système. En effet, le projet industriel analysé dans le cadre de cette thèse est un outil d'aide au pilotage de réacteur nucléaire pensé, depuis son origine, comme un sous-système d'un système plus large (l'installation nucléaire). Autrement dit, pour l'équipe de conception, il s'agit de concevoir un artefact ainsi que la situation de travail permettant son utilisation optimale. En optant pour une approche système, nous restons ainsi cohérent avec le projet faisant l'objet de cette thèse.

Le besoin initial, départ de la conception, reflète la volonté d'un client. Il est fondamentalement tourné vers le futur, que ce soit en termes de caractéristiques (par exemple, « il me faut un système permettant de parcourir 5000 km sans devoir le recharger en énergie ») ou de fonction (par exemple, « il me faut un système me permettant de faire atterrir des humains sur Mars ») d'un nouveau système. Pour ne pas confondre le besoin initial avec le besoin tel que nous le définissons ensuite, nous utiliserons le terme de « demande » pour désigner les attentes initiales du client.

Dans cette optique, nous considérons que le besoin est du côté du sujet, qu'il soit futur utilisateur, mainteneur, usager ou mandant du système en conception, et de sa situation de travail ou d'utilisation, future ou actuelle. Un besoin est ce qui est réellement neces-

saire pour que le système réalise les buts qui lui sont assignés. Il renvoie aussi bien aux ressources et éléments de la situation nécessaires au travail des utilisateurs (ou autres parties prenantes), qu'aux objectifs qu'ils poursuivent et aux caractéristiques des éléments qui le constituent, qu'ils soient humains, techniques ou organisationnels. Par exemple, un besoin peut être une contrainte organisationnelle de la situation (par exemple, les opérateurs réalisent telle tâche en collaboration avec tels autres opérateurs) ou bien une caractéristique des utilisateurs (par exemple, leur taille).

Ainsi, les besoins ne sont pas nécessairement exprimables par les parties prenantes : ils peuvent être non conscients ou latents. Ils ne peuvent donc pas être seulement recueillis par les concepteurs. Ces derniers doivent les inférer de l'analyse de la situation de travail. L'ergonomie propose des techniques adaptées pour la découverte de l'ensemble des besoins, qu'ils soient conscients et exprimables, non-conscients ou latents.

Les exigences sont la réponse aux besoins des utilisateurs. Elles décrivent ce que le système devra faire (par exemple, le système doit permettre aux opérateurs d'atteindre la vanne X) ou avoir comme propriété de répondre aux besoins (par exemple, le système doit supporter le poids de trois opérateurs outillés). Il s'agit donc de l'expression d'une volonté relative au futur.

Les exigences peuvent faire référence à deux niveaux d'abstraction de description du système. Elles peuvent être générales ou circonscrites. Elles sont générales lorsqu'elles s'appliquent à l'ensemble du système et orientent la conception de manière générale. Elles sont circonscrites si elles ne s'appliquent qu'à un sous ensemble du système en conception. Par exemple, l'exigence « la calculatrice doit être facile à utiliser » est générale. A contrario, l'exigence « les divisions doivent être effectuées en moins de 0,1 seconde » est circonscrite : elle ne s'applique qu'à la fonction « division ».

En plus de ces deux niveaux d'abstraction, les exigences renvoient à deux dimensions du futur système, elles-mêmes pouvant être subdivisées :

- exigences fonctionnelles : décrivent ce que l'utilisateur pourra faire avec le dispositif
- exigences non fonctionnelles :
 - interaction : indiquent la manière dont l'utilisateur va interagir avec la machine ;
 - opérationnelles : présentent les performances du système en terme d'efficacité, de fiabilité, de sûreté, etc. ;
 - physiques : décrivent les composants du système, leurs relations, leurs tailles, leurs formes, etc. ;
 - organisationnelles : présentent les composantes organisationnelles du système comme le nombre d'opérateurs, leur formation, les relations managériales, etc.

Enfin, une particularité des besoins et des exigences est d'être indépendants de la solution technique.

Les spécifications décrivent la solution technique répondant aux exigences, aux besoins et, par extension, à la demande. De la même manière que pour les exigences, les spécifications font référence à deux dimensions du système : les spécifications fonctionnelles et les spécifications non fonctionnelles.

Quel qu'en soit le type, elles doivent être suffisamment précises pour être transmises aux équipes chargées de réaliser concrètement le système. Par rapport aux exigences, les spécifications doivent donc être qualifiées et/ou quantifiées :

- Qualifier une spécification signifie détailler l'exigence sous-jacente. Il s'agit de décrire finement la solution (notamment son fonctionnement) satisfaisant les exigences des parties prenantes. Par exemple, pour une exigence concernant une fonction d'un système interactif, il faut préciser les entrées, les sorties, les contraintes, les ressources (le « comment » la fonction marche) et le but de la fonction. La description du but d'une fonction peut se faire selon deux points de vue. D'un côté, elle peut être « orientée machine ». Dans ce cas, le but décrit ce que la machine fait pour réaliser la fonction. De l'autre côté, la description du but peut être « orientée utilisateur ». Ici, la fonction est décrite du point de vue de ce qu'elle fait pour l'utilisateur.
- Quantifier une spécification revient à la rendre mesurable, généralement en lui assignant un critère numérique. Celui-ci sera utilisé pour vérifier la conformité du système conçu vis-à-vis des spécifications. Par exemple, « la chaise mesure 55 cm ».

Le processus d'analyse des besoins peut alors se résumer ainsi (figure 3.10). Une fois la demande comprise ou reformulée par les concepteurs, ceux-ci doivent identifier ou recueillir les besoins et les exigences de l'ensemble des parties prenantes. Alors que les exigences doivent être simplement recueillies par les concepteurs, les besoins doivent être transposés en exigences utilisables par les concepteurs. Puis, les exigences sont traduites en spécifications par l'équipe de conception. Toutefois, toutes les exigences ne sont pas spécifiées. En effet, certaines exigences ne seront pas retenues et seront ainsi écartées. Seules les exigences retenues sont spécifiées.

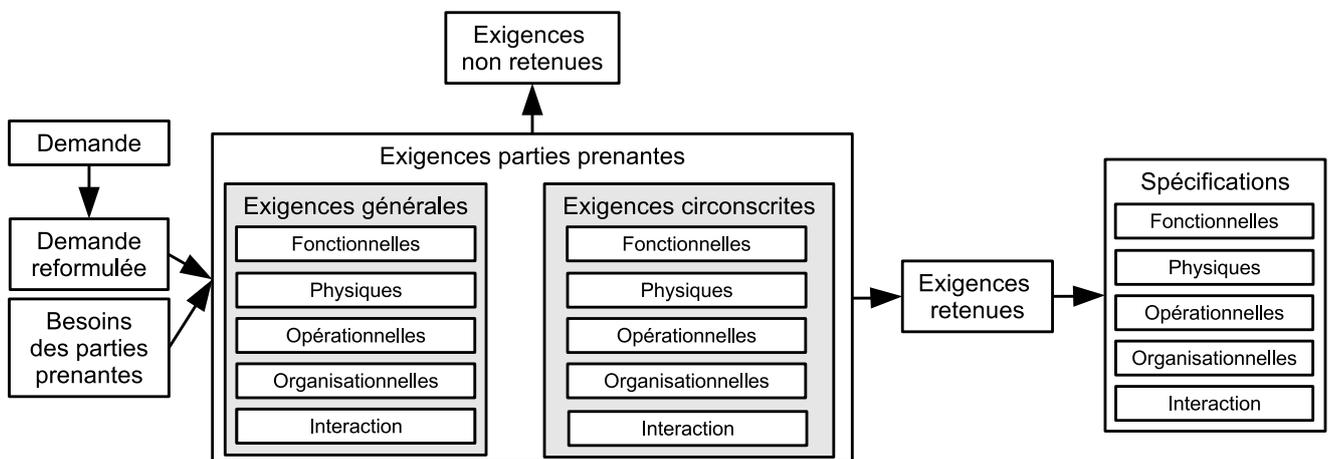


Figure 3.10 – Synthèse du processus d'analyse des besoins.

Par rapport aux exigences (générales et circonscrites), les spécifications constituent un troisième niveau de description du système plus concret. En considérant les différents types de spécifications et d'exigences, il est alors possible de décrire un système selon deux dimensions (figure 3.11). La première correspond au niveau de détail de description allant de la description la plus abstraite (exigences générales en termes de buts à atteindre et d'orientations fonctionnelles du système) à la plus concrète (spécifications). La deuxième

dimension concerne les différents points de vue utilisés pour décrire l'objet : fonctionnel, physique, organisationnel et opérationnel et l'interaction.

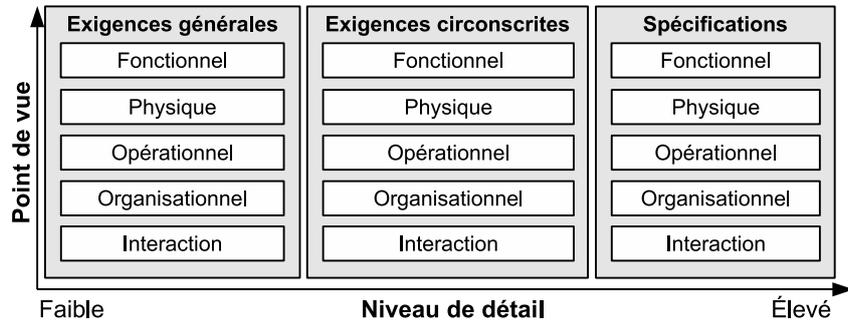


Figure 3.11 – Description du système selon deux dimensions (inspiré des travaux de Rasmussen, 1986). Pour une utilisation en conception voir, par exemple, Darses (1997), Burns & Vicente (2000) ou Loup-Escande (2010).

3.3.3 Répartition des rôles entre les acteurs de la conception dans le processus d'analyse des besoins

D'après la littérature, il est possible d'identifier quatre principaux acteurs du processus de conception : le client, les parties prenantes, les concepteurs, et les ergonomes⁸. Cette section présente une synthèse des rôles que chacun peut tenir dans l'analyse des besoins (cf. figure 3.12). Nous ne nous intéressons pas aux aspects liés à l'évaluation des dispositifs et au caractère itératif de l'analyse des besoins. Ces aspects seront vus ultérieurement.

Les clients expriment des attentes à travers une demande. Il s'agit du point de départ de la conception. Les ergonomes et les concepteurs vont identifier et comprendre cette demande. Ils vont également traduire celle-ci en exigences de conception, qu'elles soient fonctionnelles ou non. Par ailleurs, les parties prenantes expriment, elles aussi, des exigences. Celles-ci doivent être recueillies par les ergonomes et les concepteurs. Lorsque les besoins sous-jacents ne sont pas exprimés, les ergonomes doivent les identifier, via, par exemple, l'analyse du travail en situation de référence. Ces besoins devront être traduits par l'ergonome en termes d'exigences.

Une fois les exigences formalisées, les parties prenantes pourront, au choix, les valider ou non. Les concepteurs peuvent aussi choisir de ne pas valider telle ou telle exigence. Les exigences retenues sont ensuite traduites en spécifications par les ergonomes et les concepteurs.

8. Même si nous considérons l'ergonome comme un concepteur, la thèse visant à identifier et modéliser le rôle de l'ergonome dans un projet de conception, il est nécessaire de pouvoir distinguer les ergonomes des autres concepteurs.

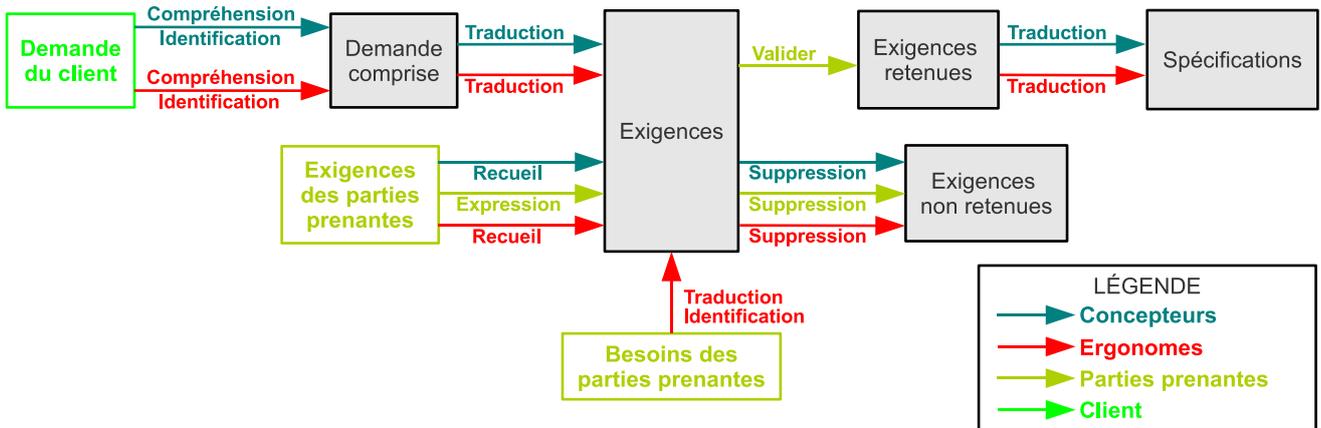


Figure 3.12 – Synthèse des rôles des acteurs de la conception dans l'analyse des besoins. Chaque boîte représente un élément du processus. Sur les flèches sont indiquées les actions effectuées sur ces éléments. À chaque acteur du processus de conception correspond une couleur.

Cependant, la littérature fournit peu d'informations sur la manière dont chaque acteur contribue à la définition des différentes dimensions du système, que ce soit au niveau des exigences ou des spécifications. Par exemple, concernant les spécifications, certains auteurs distinguent les « fonctions utilisateurs » et « fonctions système » pour décrire la répartition des tâches entre ergonomes et ingénieurs. Cette distinction n'est pas suffisamment détaillée pour délimiter clairement le rôle de chacun (§3.2.2). Du point de vue de la définition des dimensions du système, la répartition des tâches entre ergonomes, ingénieurs et parties prenantes est peu précise. Pourtant, en vue de clarifier leurs rôles, et notamment celui de l'ergonome, ces informations nous semblent importantes.

Par ailleurs, les choix techniques concernant le fonctionnement du système sont dépendants de ce que doit faire la machine du point de vue de l'utilisateur et vice-versa. La partie dont l'ergonome est chargé est donc en forte interaction avec la partie dévolue aux concepteurs. La coopération à ce niveau-là n'a jamais été, à notre connaissance, étudiée.

3.4 Formes de participation de l'ergonomie à l'analyse des besoins

Nous considérons l'analyse des besoins comme un processus allant de l'identification des besoins des parties prenantes jusqu'à la rédaction des spécifications transmises aux développeurs. Dans la littérature, trois formes de participation ergonomique sont décrites pour agir dans l'analyse des besoins : l'approche *Human Factors* (facteurs humains), l'assistance à la maîtrise d'ouvrage (MOA) et la co-conception.

3.4.1 L'approche Human Factors

Une première forme d'intervention ergonomique en analyse des besoins est celle portée par le courant *Human Factors*. Dans ce courant, le rôle de l'ergonome est de produire

des connaissances scientifiques sur l'homme en situation de travail. Ces connaissances, compilées et réunies dans des manuels (par exemple, Karwowski, 2006), guides de styles, recueils de recommandations ergonomiques (par exemple, Smith & Mosier, 1986) en vue d'être utilisées par des concepteurs non ergonomes. De cette manière, paradoxalement, l'ergonomie participe à la conception sans que les concepteurs aient recourt à un ou des ergonomes. Nikolopoulou (1998) parle d'une « intégration virtuelle » de l'ergonome dans la conception.

Dans une perspective similaire, certains auteurs proposent d'intégrer l'ergonomie à travers l'implantation de préceptes et connaissances ergonomiques dans les outils de CAO utilisés par les concepteurs (voir, par exemple, Feyen et al., 2000). Ici, l'ergonomie est « encapsulée » dans le logiciel qui va interdire, par exemple, certaines configurations matérielles (par exemple, des objets ne pouvant être atteints, car situés trop haut).

D'après la littérature dans la discipline, cette approche est sérieusement limitée. Les guides et les recueils de recommandations ergonomiques sont trop généraux, et les concepteurs n'ont pas les compétences pour les traduire en termes utiles pour la conception (Chapanis, 1996). De plus, la somme des spécifications et de normes que doivent intégrer les concepteurs dépasse leur capacité de traitement de l'information (Wulff et al., 1999a,b; Chapanis, 1996). Sans ergonomes dans le projet, ces connaissances seront mal voir pas employées, les concepteurs n'ayant pas les connaissances ou les ressources nécessaires pour les utiliser correctement (Burns & Vicente, 1996; Chapanis, 1996; Haslegrave & Holmes, 1994). Le risque est alors une absence totale de prise en compte de l'ergonomie dans le projet.

Les connaissances scientifiques produites dans le courant *Human Factors* ne sont pour autant pas inutiles. Les ergonomes s'en servent dans leur pratique afin de formuler des exigences (Lamonde, 2000). Contrairement aux autres concepteurs, ils disposent des connaissances et compétences nécessaires à leur utilisation (Chapanis, 1996). Ainsi, il paraît difficile de se passer d'un ergonome pour intégrer les productions scientifiques du courant *Human Factors*.

3.4.2 L'assistance à la maîtrise d'ouvrage

Dans une participation à l'analyse des besoins en assistance de la maîtrise d'ouvrage (MOA), l'activité de l'ergonome s'articule autour de deux points. Il s'agit, premièrement, de mettre en place les conditions et les outils de confrontation de points de vue afin de mieux prendre en compte les conditions du travail réel dans la solution (Darses & de Montmollin, 2006). Le rôle de l'ergonome est alors de faire le « pont » entre les futurs utilisateurs et les concepteurs de métier. Deuxièmement, dans cette approche, l'ergonomie vise à enrichir les objectifs de l'outil et/ou les contraintes à prendre en compte par les concepteurs (Daniellou, 2004; Garrigou et al., 2001; Tran Van et al., 2008).

De nombreux auteurs en ergonomie des situations de travail s'inscrivent dans cette approche de l'ergonomie de conception. Daniellou & Naël (1995) proposent que l'ergonome intervienne à trois moments du projet⁹ : au niveau de la demande et des besoins, des exigences et de l'évaluation des dispositifs. Ainsi, les ergonomes doivent :

9. Cependant, ils précisent qu'en préalable, l'ergonome doit faire un « diagnostic » du projet en identifiant les acteurs clés et les différentes étapes de la conception.

1. *Enrichir les objectifs du projet.* À partir de l'étude des situations de référence, les auteurs proposent de fournir :
 - une description des caractéristiques des futurs utilisateurs et de leur diversité (tant sur le plan anthropométrique que cognitif) ;
 - une description des situations d'utilisation et de leur variabilité ;
 - des objectifs précis en termes de facilité d'utilisation ;
 - une structuration temporelle du projet permettant l'intervention ergonomique tout au long de celui-ci.

Il s'agit de présenter des repères descriptifs de conception permettant à la MOA d'enrichir les objectifs du projet, la demande initiale.

2. *Formuler des repères prescriptifs pour la conception.* Toujours à partir de l'analyse des situations de référence et de ses connaissances scientifiques, l'ergonome doit formuler des recommandations ainsi que des principes de solution. Par rapport aux définitions précédemment établies, l'ergonome participe à la formulation d'exigences. Il revient aux concepteurs de la MOE de les prendre ou non en compte.
3. *Organiser les simulations de l'activité future.* Une fois un dispositif concret (que ce soit sous forme de maquette ou de prototype) réalisé par les concepteurs, l'ergonome va mettre en place les conditions d'approche de la situation future. À ce stade, et à partir de son analyse des situations de référence, il va préparer les scénarios et former un échantillon de futurs utilisateurs. Suite à leur passation, l'ergonome formule des axes d'amélioration. C'est aux concepteurs de la MOE de les prendre en compte. Ces simulations peuvent avoir lieu à différents moments du projet, l'ergonome pouvant utiliser les versions successives des maquettes jusqu'au prototype.

Le problème de cette approche est le manque d'itération. Même si les simulations permettent d'approcher et d'évaluer des versions corrigées du dispositif, l'ergonome n'est pas formellement intégré à ce processus. En effet, d'après certains auteurs, l'itération ne doit pas uniquement permettre d'affiner la solution, elle est utile pour découvrir de nouveaux besoins ou de nouvelles exigences (par exemple, Anastassova et al., 2007; Maguire & Bevan, 2002).

Garrigou et al. (2001) propose d'articuler trois « approches » pour agir en conception (figure 3.13) : une approche descendante, une approche ascendante et une approche par simulation.

- *L'approche descendante* est un accompagnement de la MOA. Elle consiste à enrichir les objectifs initiaux du projet, mais aussi à apporter une réflexion sur les choix techniques et organisationnels faits par la MOA. À ce stade, et contrairement aux auteurs précédents, ces propositions sont issues de l'expertise de l'ergonome et non d'analyse des situations de référence. Ultérieurement, l'ergonome participera à la construction du cahier des charges. Les éléments nécessaires à cette participation sont alimentés par les deux autres approches.
- *L'approche ascendante* renvoie à l'analyse des situations de référence. Comme Daniellou & Naël (1995), il s'agit d'identifier les facteurs de variabilité, mais aussi les précurseurs d'incidents, etc. À partir de ces éléments, l'ergonome va formuler des

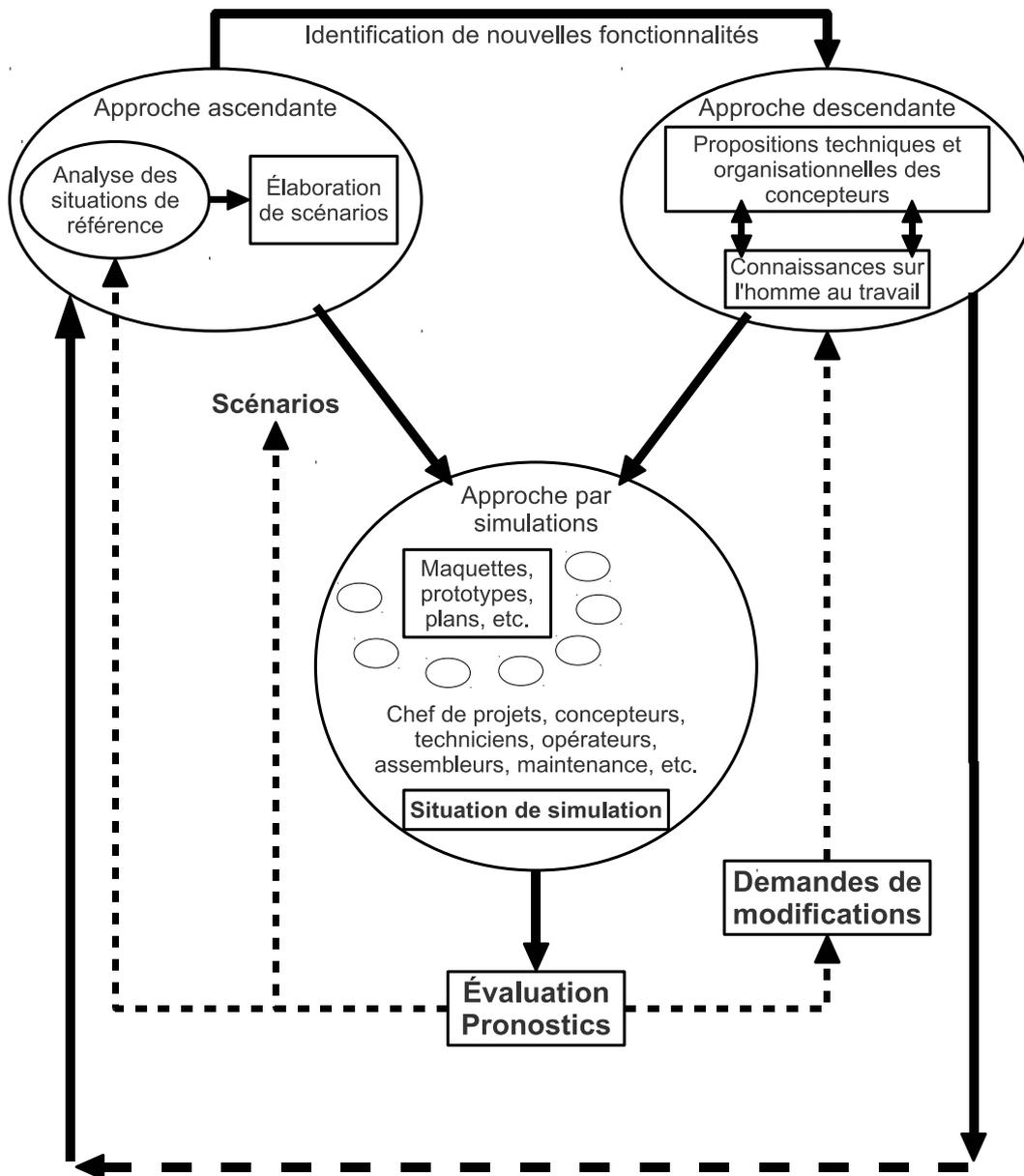


Figure 3.13 – Démarche ergonomique articulant trois approches selon Garrigou, Thibault, Jackson et Mascia (2001).

besoins de termes de fonctionnalités, de caractéristiques du dispositif, mais aussi des besoins concernant l'organisation et la formation des futurs utilisateurs. Autrement dit, l'analyse des situations de référence permet d'identifier les exigences de conception qui seront intégrées dans le cahier des charges. Les éléments recueillis lors de ces analyses sont aussi à la base de la dernière approche.

- *L'approche par simulation.* À la manière de Daniellou & Naël (1995), il s'agit d'approcher les éléments permettant un pronostic sur l'activité future des utilisateurs et ainsi, de déterminer les difficultés rencontrées avant que le dispositif ne soit figé. En compagnie de la MOE, l'ergonome va organiser et analyser les séances de si-

mulation. Ces simulations ne nécessitent pas forcément de dispositifs pleinement fonctionnels et peuvent ainsi être réalisées sur des maquettes papier, réelles ou virtuelles. Ces simulations sont le moteur de l'itération.

Il existe une forte interdépendance entre ces approches, c'est à l'ergonome de faire l'articulation. L'approche ascendante enrichit l'approche descendante et l'approche par simulation. Cette dernière étoffe et complète les deux autres approches en leur apportant de nouveaux éléments.

Pour résumer et reprendre le vocabulaire défini précédemment, dans cette perspective, l'ergonome participe à l'élaboration de la demande, à l'identification des besoins des parties prenantes et à la formulation des exigences de ces derniers (voir figure 3.14). Ces éléments devront être pris en compte par les concepteurs dans la solution qu'ils proposent. Ainsi, l'ergonomie contribue à contraindre le processus d'analyse des besoins et à restreindre le risque que des solutions inadaptées soient produites par la maîtrise d'œuvre (MOE).

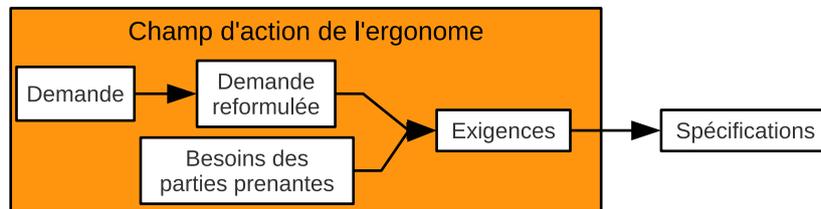


Figure 3.14 – Champ d'action de l'ergonome sur les éléments d'un cahier des charges dans une perspective d'assistance à la MOA.

Cependant, participer à la redéfinition des besoins initiaux ou formuler des exigences ne signifie pas qu'elles seront prises en compte. En effet, confrontés à des difficultés techniques, les concepteurs peuvent réévaluer le bien-fondé de telle ou telle piste de solution ou exigence (Wulff et al., 1999b). Cette forme d'action nécessite donc un fort suivi des concepteurs de la part de l'ergonome. D'où la nécessité, comme les auteurs l'expriment, de participer aux simulations successives de l'activité avec le dispositif futur. Cet aspect, notamment pour les ergonomes prestataires externes à la MOA, nécessite d'être contractualisé, ce qui n'est pas toujours évident. De plus, le suivi des versions successives du dispositif peut être long et obliger à renégocier les contrats passés avec la MOA. Enfin, cette démarche nécessite de contractualiser les rapports avec la MOE et notamment l'accès aux différentes versions du dispositif.

3.4.3 Co-concevoir le système

Dans une perspective de co-conception, l'ergonomie est considérée comme les autres disciplines impliquées dans le projet. L'ergonome est un des acteurs de la conception au même titre que les autres concepteurs (Darses & de Montmollin, 2006). Il fait partie intégrante de la maîtrise d'œuvre (MOE). En plus d'identifier et définir la demande, les besoins et les exigences, l'ergonome intervient dans la définition des spécifications (voir figure 3.15), au côté des autres acteurs de la conception. Cette forme d'intervention est relativement récente par rapport à l'histoire de l'ergonomie. Même s'il est possible d'en retrouver des exemples depuis le milieu des années 1990 (Chapanis, 1996; Maguire, 1998;

Notte, 1993), la plupart des interventions de ce type ont été publiées dans le courant des années 2000 (Février-Quesada et al., 2003; Haradji & Faveaux, 2006; Notte & Le Port, 2007).

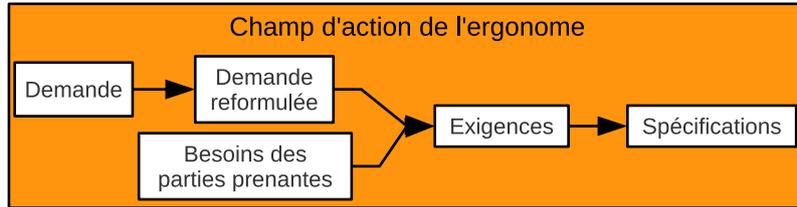


Figure 3.15 – Champ d'action de l'ergonome dans une perspective de co-conception.

Plusieurs auteurs ont formalisé une démarche d'intervention ergonomique en conception. Par exemple, Maguire & Bevan (2002) et Maguire (1998) proposent une démarche basée sur la norme ISO 13407 (1999). Elle est composée (voir figure 3.16) de quatre étapes :

1. *Recueil d'information.* Lors de cette étape, l'ergonome est chargé d'identifier les parties prenantes, leurs tâches et responsabilités respectives. Ensuite, il doit recueillir des informations concernant, d'une part, les caractéristiques cognitives et physiques des futurs utilisateurs, et d'autre part, les caractéristiques techniques, organisationnelles et physiques de la future situation d'utilisation. Enfin, l'ergonome doit également analyser l'activité actuelle des utilisateurs. Cette étape correspond, dans notre terminologie, au recueil et à l'identification des besoins.
2. *Identification des besoins.* À partir, des éléments recueillis précédemment, l'ergonome doit alors identifier les attentes des utilisateurs concernant le futur système. Celles-ci peuvent être soit exprimées directement par les opérateurs grâce aux entretiens menés par l'ergonome, soit traduites par l'ergonome à partir des informations recueillies à l'étape précédente. Contrairement aux autres approches, ni l'analyste, ni les utilisateurs ne sont les seules sources de formulation des exigences. Par contre, l'intervention d'un membre de l'équipe de conception (ici, l'ergonome) est tout de même nécessaire pour identifier toutes les exigences des utilisateurs. Dans notre terminologie, cette étape correspond à l'identification des exigences de conception.
3. *Maquettage et évaluation des solutions.* Une fois les exigences identifiées, les auteurs proposent que l'ergonome les mette en œuvre dans une maquette. L'évaluation itérative commence à cette étape. Si le dispositif ne convient pas, il faut recueillir les nouvelles exigences formulées par les utilisateurs jusqu'à ce que la maquette soit satisfaisante de ce point de vue.
4. *Spécifications des exigences.* Enfin, une fois la maquette validée, l'ergonome peut spécifier les exigences.

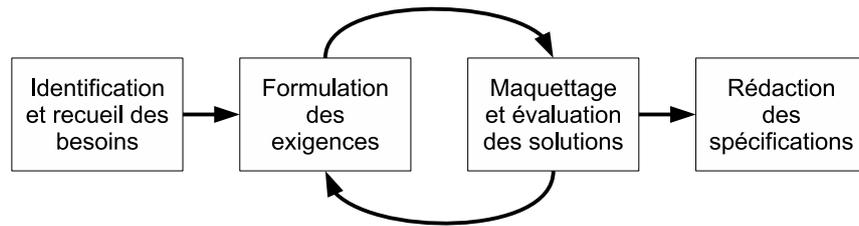


Figure 3.16 – Démarche d’analyse des besoins proposée par Maguire et Bevan (2002) adaptée selon notre terminologie.

Étant calquée en partie sur la norme ISO 13407 (1999), cette démarche n’est pas vraiment intégrée dans un processus de conception industriel et donc au travail des autres concepteurs. Ainsi, l’ergonome doit déterminer comment il intègre celle-ci dans un projet réel. De plus, si l’itération concerne les exigences et les solutions apportées (à travers la maquette), il n’y a aucune itération vers les besoins.

Chapanis (1996), après un plaidoyer pour une plus forte intégration de l’ergonomie en conception, propose une autre démarche. Sa démarche d’intervention est expliquée et décrite en lien avec le processus de conception utilisé en ingénierie système. Ainsi, la démarche ergonomique et l’activité de l’ergonome sont relativement bien intégrées dans le processus de conception. Cette démarche constitue, à notre connaissance, la plus complète, la mieux détaillée et la mieux intégrée des approches de la co-conception. Elle est composée de cinq étapes suivantes :

1. *Définir, avec le mandant, le besoin initial.* Il s’agit, pour l’ergonome de participer à définir des exigences de haut niveau comme le nombre d’utilisateurs, leur type (exploitant, usager, mainteneur, etc.) et le type d’environnement d’utilisation du futur système. Cette étape, alimentée par l’expertise de l’ergonome et sa connaissance de l’environnement, renvoie à l’approche ascendante de Garrigou et al. (2001). Selon notre terminologie, elle correspond à la demande, sa reformulation et à l’identification des besoins.
2. *Établir la liste des exigences :* il s’agit de décrire ce que le système devra faire et avoir comme propriétés. Les exigences concernent le plan fonctionnel, opérationnel (performance, précision, contexte futur d’utilisation) et physique (architecture du système, composants du système). Du point de vue de l’ergonome, il s’agit de traduire les besoins identifiés à la première étape (caractéristiques des utilisateurs, etc.) en description du système. À ce stade, l’ergonome doit également préparer des scénarios d’usage du système. Ces scénarios guideront les étapes suivantes et seront notamment utilisés lors de la dernière. Les résultats de cette étape (exigences et scénarios) sont alimentés par des informations issues de l’emploi d’un certain nombre de techniques. L’auteur en cite de nombreuses comme, par exemple, la technique des incidents critiques, l’analyse d’activité, la simulation, l’expérimentation, etc.
3. *Définir les fonctions, l’utilisation, le comportement et l’architecture de l’interface du système.* Il s’agit ici de spécifier l’ensemble de ces aspects afin de pouvoir proposer des maquettes dont l’interface est rudimentaire, mais suffisante pour avoir un aperçu du système. L’ergonome doit, en plus, participer activement à la répartition des tâches entre humains et machines. Il doit prendre en compte de nombreuses contraintes comme, par exemple, le coût (aussi bien humain que budgétaire) de l’au-

tomatisation de telle ou telle fonction, ou la nécessité de couleurs pour l'interface (un écran monochrome étant bien moins cher).

4. *Spécifier l'interface du système.* Il s'agit ici de définir finement l'ensemble des interfaces nécessaires pour développer les maquettes de plus en plus précises du futur système.
5. *Simuler et évaluer l'utilisation du dispositif* à travers des maquettes jusqu'au prototype. L'auteur préconise également de débiter l'écriture du manuel d'utilisation du système lors de cette étape.

Cependant, formuler des spécifications ne garantit pas leur implémentation dans la solution finale (Wulff et al., 1999b). Les concepteurs reconnaissent l'impossibilité de connaître et de lire l'ensemble des spécifications, qu'elles soient ergonomiques ou non. Par conséquent, certains concepteurs les prendront en compte uniquement s'ils en reçoivent la demande explicite. Par ailleurs, même si elles sont lues et connues, les spécifications ne sont pas forcément implémentées. Les satisfaire toutes est rarement possible, car elles peuvent porter des exigences antagonistes. Il y a alors nécessité de négocier entre les concepteurs. Selon les auteurs, les ergonomes doivent se retrouver dans ces « tractations » s'ils veulent que leurs prescriptions soient intégrées.

Finalement, l'assistance à la MOA et la co-conception se distinguent uniquement par le niveau de contribution de l'ergonome à la définition du système. Les deux formes d'intervention reposent sur des principes voisins :

- analyse de l'existant et de situations de référence ;
- participation à la définition des besoins initiaux ou de la demande ;
- contribution à l'identification d'exigences de conception ;
- pronostic itératif de l'adéquation du système avec le contexte réel et les utilisateurs par l'utilisation de techniques de simulation.

Dans la première approche, l'ergonome reste à un niveau d'identification des besoins et des exigences, qu'elles soient fonctionnelles ou non. Dans l'assistance à la MOA, l'ergonome n'agit pas directement sur les spécifications. Son action sur celles-ci est médiée par les recommandations ou exigences formulées aux concepteurs. Seuls les concepteurs participent à leur définition. Dans la co-conception, l'ergonome est un des acteurs des spécifications, et notamment celle d'interface. Il peut donc lui-même changer les spécifications qu'il propose (sous réserve de ne pas entrer en contradictions avec d'autres spécifications). Dans cette forme d'intervention, il est directement impliqué dans l'évolution itérative de la solution puisqu'il agit directement sur elle.

Finalement, les approches diffèrent sur le niveau de contrôle direct de l'ergonome sur les spécifications produites par l'équipe de conception. Lorsqu'il assiste la MOA, l'ergonome ne peut agir directement sur les spécifications puisqu'elles sont gérées par la MOE. Ainsi, si les exigences formulées ne sont pas assez précises, et que les spécifications proposées par les concepteurs ne les remplissent – selon lui – pas, il ne pourra pas remettre en cause le cahier des charges final (Haslegrave & Holmes, 1994). Par contre, en co-conception, l'ergonome reste maître des spécifications, il pourra alors agir directement sur celles-ci afin de répondre au mieux aux exigences qu'il a lui-même définies.

3.5 L'analyse des besoins, un processus de conception collective pluridisciplinaire

La littérature rapporte deux manières de voir le processus de spécification. Pour certains (par exemple, Chapanis, 1996), il s'agit de traduire les besoins en des termes « implémentables » par les développeurs. L'enjeu est de définir et détailler suffisamment le système afin de minimiser le nombre de décisions de conception laissées aux développeurs. Pour (Jackson & Zave, 1995; Zave, 1997), ce processus consiste à retirer progressivement toutes les références à l'environnement non accessibles au système en conception. L'objectif est de donner aux concepteurs uniquement les informations « utiles » à leur tâche, en écartant les informations qu'ils ne peuvent prendre en compte. Ces points de vue sur l'activité liée à l'analyse des besoins ne prennent cependant ni en compte l'itération, ni les compromis faits par les concepteurs entre l'espace des besoins, des exigences et l'espace des possibles (Wulff et al., 1999a).

Dans cette section, nous abordons l'activité des concepteurs en analyse des besoins comme une activité de conception au sens de l'ergonomie cognitive. Puis, nous présentons les éléments clés des activités de conception collectives pluridisciplinaires, à savoir l'alternance entre co-conception et conception individuelle, les points de vue des concepteurs et leur articulation à travers l'argumentation. Nous terminons en précisant la manière dont les ergonomes peuvent collaborer avec les autres concepteurs.

3.5.1 L'analyse des besoins, une activité itérative de résolution de problèmes de conception

Il est possible de considérer l'ensemble des besoins et des exigences comme le problème auquel les concepteurs doivent répondre en produisant une solution exprimée à travers les spécifications. Ainsi défini, le processus d'analyse des besoins semble réunir toutes les caractéristiques des activités de résolution de problèmes de conception (par exemple, Darses et al., 2004; Visser, 2004) :

- L'état initial du problème est mal défini. Il s'agit d'une des caractéristiques fondamentales des besoins ou des exigences. Ceux-ci sont, par essence, mal définis, sinon il n'y aurait aucune nécessité à les spécifier.
- L'état final est, lui aussi, mal défini. Les spécifications ne peuvent être connues d'avance, sinon, le processus n'a aucun sens. Le cœur de l'activité des concepteurs consiste d'ailleurs à les définir.
- Les solutions sont multiples. Là encore, pour répondre à un ensemble de besoins ou d'exigences (le problème), il est possible d'imaginer une quasi-infinité de dispositifs, et, par conséquent, de spécifications (les solutions).
- Les problèmes de conception sont multidimensionnels, différentes dimensions du problème doivent être prises en compte par les concepteurs. Il s'agit là d'un élément essentiel des exigences. Comme nous l'avons évoqué, ces dernières sont de différents types : fonctionnelles ou non fonctionnelles (d'interaction, organisationnelles, opérationnelles et physiques). Elles renvoient à des dimensions différentes du futur dispositif. Les spécifications leur donnant une solution sont donc issues d'un compromis entre ces dimensions.

- La conception est itérative. Le problème et la solution se co-construisent dans un mouvement itératif. Construire la solution va amener les concepteurs à redéfinir le problème et ainsi de suite (Simon, 1999). Il en va de même pour l'analyse des besoins où les exigences et les spécifications se définissent de manière itérative au fur et à mesure de l'avancement de l'analyse des besoins (par exemple, Maguire & Bevan, 2002). Ainsi, en plus des deux dimensions de description d'un système (point de vue et niveau de détail, voir figure 3.11 p. 32), il est possible, d'en définir une troisième, orthogonale au deux précédentes (Darses, 1997, voir figure 3.17). La solution, décrite par deux dimensions est en évolution avec le temps. La première version de la solution, produite au temps 1, sera différente de la deuxième version, et ainsi de suite. Pour définir une solution il faut donc, non seulement définir les deux dimensions, mais aussi préciser quand celle-ci a été produite.

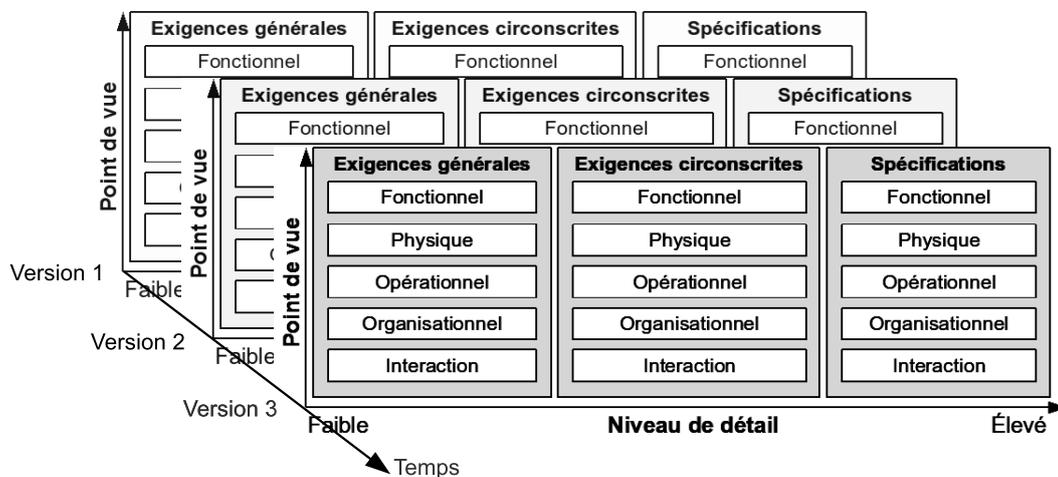


Figure 3.17 – Description d'un système et de son évolution selon trois dimensions : point de vue, niveau de détail et temps (inspiré de Darses, 1997).

Si le processus de construction des spécifications possède les caractéristiques des problèmes de conception, alors, l'activité des concepteurs doit posséder les traits des activités de conception. Ce processus étant, de manière quasi systématique, collectif, nous rapportons ici principalement des connaissances sur cette dimension des activités de conception.

3.5.2 L'alternance des séances individuelles et collectives de travail comme moteur de la conception

En plus des activités individuelles « génératives » de la conception (construction du problème, génération de solutions identification d'alternatives et évaluation¹⁰), deux activités soutenant la conception collective sont distinguées en ergonomie cognitive. Premièrement, les activités de synchronisation (Darses & Falzon, 1996), visent la construction, l'évolution et le maintien dynamique d'un contexte de connaissances mutuelles. Il s'agit

10. Voir notamment Visser (2004) pour une revue détaillée.

de s'assurer que les concepteurs disposent d'une représentation commune de la situation (De Terssac & Chabaud, 1990) et qu'ils partagent les mêmes connaissances sur le domaine d'activité. Ces activités se retrouvent majoritairement (avec les activités génératives) dans les situations de co-conception où les concepteurs résolvent conjointement un problème de conception (Darses, 2009).

Deuxièmement, les activités de coordination (ou synchronisation opératoire, Darses & Falzon, 1996) visent à répartir les tâches entre les concepteurs et organiser temporellement les activités de chacun. Ces activités sont prépondérantes dans les situations de conception distribuée (Darses, 2009), dans lesquelles les acteurs résolvent séparément des sous-problèmes distincts, mais liés. Pendant un projet de conception, les phases de co-conception et de conception distribuée alternent. Il y a, au cours du processus, nécessité de mettre en commun les productions individuelles des concepteurs (Béguin, 1994), notamment à travers l'organisation de réunions de conception. Il est ainsi possible de distinguer deux types « d'espaces » où la solution et le problème vont se construire : les séances de travail individuelles, et les séances collectives. Pour dénommer ces moments d'évolution des exigences et des spécifications, nous parlerons de « points d'évolution » (figure 3.18).

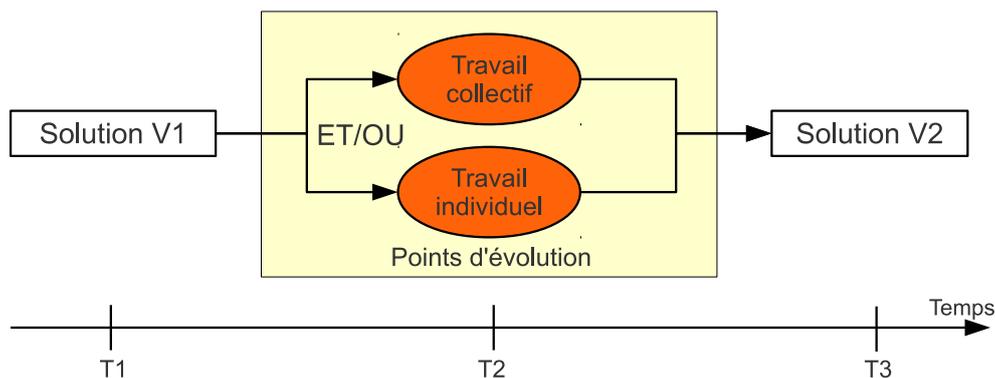


Figure 3.18 – Représentation des points d'évolution entre deux versions d'une solution.

3.5.3 L'ergonome, un concepteur comme les autres, avec un point de vue différent

Les concepteurs portent des points de vue différents sur l'objet de la conception, qu'ils soient de formation, de compétences et d'expérience différentes¹¹ (Bucciarelli, 2002) ou comparables (Wolff et al., 2005). Il en va, d'ailleurs, de même pour les ergonomes et les autres concepteurs (Haslegrave & Holmes, 1994). D'après Détienne et al. (2005) le point de vue est une combinaison spécifique des représentations dont les concepteurs disposent sur les contraintes inhérentes à leur discipline ou domaine d'expertise. Ils reflètent donc les contraintes de ces derniers. La conception étant une activité fortement conditionnée par les contraintes des concepteurs (Darses, 1994), la notion de point de vue est au centre de la conception. De plus, si l'évaluation des solutions repose en partie sur les contraintes

11. Cette pluridisciplinarité est à mettre en rapport avec la montée en puissance de l'ingénierie concurrente et le fonctionnement par projet des processus de conception.

des concepteurs (Bonnardel, 1999), le point de vue est alors – au même titre que les points d'évolution – moteur dans la génération et l'évaluation des solutions de conception. À cet égard, une étude empirique de Burns & Vicente (2000) montre que les ergonomes doivent intégrer des contraintes diverses pour produire des solutions acceptables par les autres concepteurs. Ils sont des concepteurs comme les autres.

Du fait de la multiplicité des points de vue, et afin d'arriver à une solution acceptable par tous, les concepteurs doivent nécessairement articuler, confronter et argumenter leurs points de vue (Darses, 2009). Pour cet auteur, « argumenter, c'est développer un raisonnement dans le but de convaincre un auditoire et d'obtenir de lui qu'il partage une opinion donnée en présentant des éléments de preuve de la thèse défendue » (p. 52). Ainsi, argumenter peut autant être utilisé pour attaquer que pour défendre une position (Darses, 2006). L'argumentation a également une fonction coopérative (Champaud, 1994, cité par Darses, op. cit.). Elle vise au développement d'un but commun, à la clarification de l'état actuel du problème ainsi qu'à la constitution d'une représentation partagée. L'argumentation est donc centrale dans les phases de synchronisation cognitive. Or, comme nous l'avons vu, les situations de co-conception sont le moment privilégié de ces activités.

Ainsi, et pour compléter les conclusions de Wulff et al. (1999b), il semble indispensable, pour les ergonomes en posture de co-concepteur, de se placer dans une situation de résolution collective du problème de conception pour que les prescriptions qu'ils formulent soient intégrées dans les spécifications. Cependant, ces recherches n'informent pas sur la manière dont les ergonomes et les autres concepteurs peuvent articuler leurs points de vue.

3.5.4 Articuler les points de vue de l'ergonome et des autres acteurs de la conception

Concernant l'articulation des points de vue des concepteurs, Haslegrave & Holmes (1994) ainsi que Burns & Vicente (2000) rappellent que les ergonomes et les autres concepteurs ne parlent pas la même langue, ne visent pas le respect des mêmes contraintes et ont, du coup, des critères d'évaluation différents. Les ergonomes portent des critères d'utilité (Loup-Escande, 2010) et d'utilisabilité (Bastien & Scapin, 1993) pour concevoir et évaluer les dispositifs, alors que d'autres concepteurs peuvent défendre d'autres critères comme la faisabilité, le coût ou la solidité des dispositifs (Burns & Vicente, 2000). Dans ces conditions, articuler les points de vue semble délicat. Pour résoudre ce problème, des auteurs proposent de créer un langage commun entre les ergonomes et les autres acteurs de la conception.

Pour Roussel (1996), l'ergonome doit formaliser ses préconisations en ne perdant pas de vue qu'il s'agit d'un outil de travail des autres concepteurs. L'ergonome doit ainsi formaliser son point de vue et sa représentation de la situation de manière utilisable et interprétable par les autres acteurs de la conception. Pour cela, il propose que l'ergonome les expose aux autres concepteurs à travers un outil appelé « référentiel commun d'usage ». Cet outil est composé d'un ensemble de règles et d'un ensemble d'exemples. Les premières renvoient aux règles que devra respecter toute solution ou tout concept répondant aux besoins des utilisateurs (ce qui correspond aux exigences). L'ensemble d'exemples est constitué d'illustrations de l'usage du dispositif. Pour cet auteur, l'usage permet donc d'articuler les points de vue des différents concepteurs.

C'est aussi le parti pris du courant « scenario based-design » (conception basée sur les scénarios, Carroll, 2000). Un scénario est une description non formelle (textuelle, graphique, schématique, etc.) et narrative de la manière dont les utilisateurs utilisent et perçoivent un système interactif, ainsi que de leurs motivations sous-jacentes. Ils peuvent être utilisés pour définir les fonctions utilisateurs et l'interaction de l'utilisateur avec le système (qu'elle soit physique ou logicielle). D'après cet auteur, les scénarios facilitent les échanges entre les concepteurs car ils rendent concret l'usage du futur dispositif. Les scénarios permettraient également de faciliter l'expression des besoins auprès des futurs utilisateurs (Maguire & Bevan, 2002; Sutcliffe, 2002).

Enfin, Février-Quesada et al. (2003) proposent que les ergonomes emploient les langages de modélisation utilisés par les concepteurs pour établir des spécifications. Dans leur cas, les auteurs ont employé les « cas d'utilisation » du langage UML (Booch et al., 1998) très populaire en informatique pour spécifier l'usage d'un nouveau logiciel. Ces « cas d'utilisation », sont des ensembles de scénarios d'usage décrivant les fonctions utilisateurs du système et la manière dont les utilisateurs interagissent avec la machine pour les exécuter. Par rapport aux scénarios de Carroll, les « cas d'utilisation » sont décrits de manière formelle.

Ces travaux montrent à quel point la question de l'usage, dont l'utilité et l'utilisabilité sont les deux facettes, est centrale pour l'ergonomie. Les ergonomes peuvent tout à fait participer à sa construction. Celle-ci nécessite de partager, avec les autres concepteurs, un langage commun.

Chapitre 4

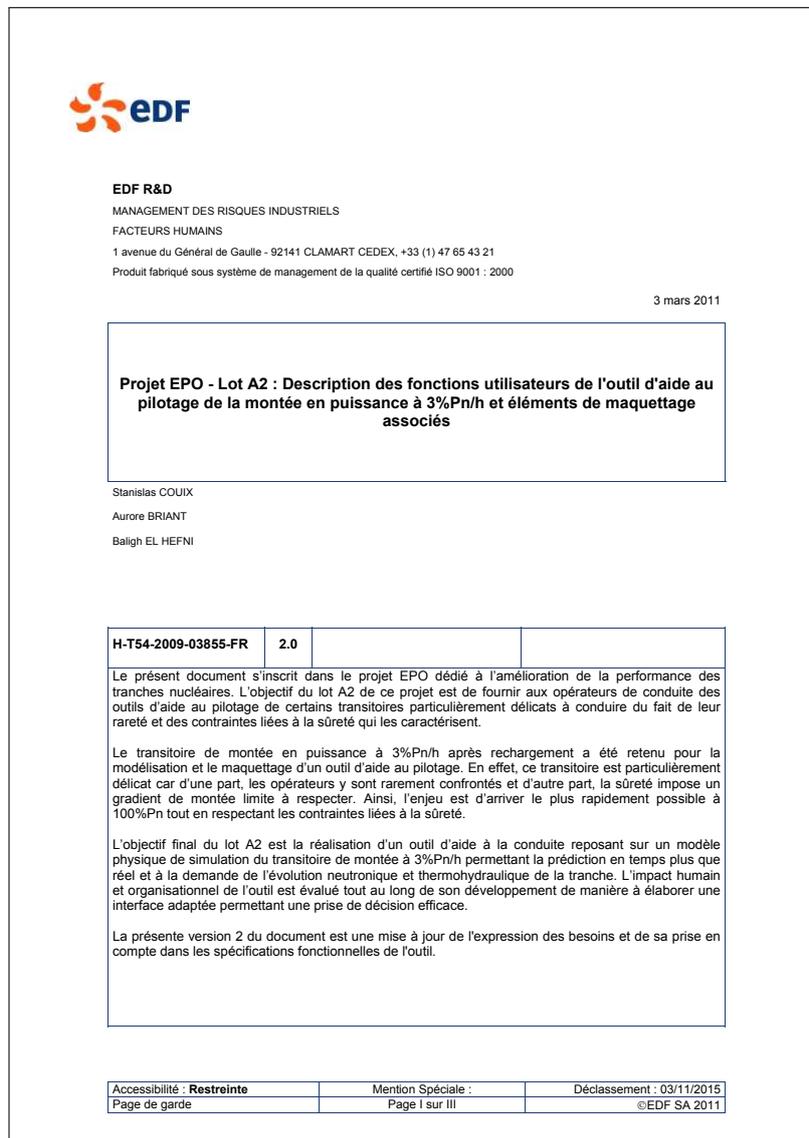
Processus de rédaction du cahier des charges du projet APTS

L'objectif de projet APTS (aide au pilotage de transitoire sensibles) est de développer des aides à la conduite et à la surveillance à partir de données du process. Il s'agit d'une étude de faisabilité. La démonstration de cette faisabilité (ainsi que de l'intérêt de l'aide conçue) sera concrétisée à travers le développement d'une maquette informatique¹ et la rédaction d'un cahier des charges. Ce dernier est plus complet que la maquette. Il contient les informations nécessaires au développement d'un prototype du système. Ainsi, le cahier des charges détient une place centrale dans le projet. Après une description du cahier des charges et de la manière dont il a été produit au cours du projet, nous présentons les acteurs et leur niveau de participation à sa construction.

4.1 Le cahier des charges, élément clé de la conception

Rédigé conjointement par l'ergonome et deux des ingénieurs de l'équipe (Couix et al., 2011), le cahier des charges (figure 4.1) est utilisé par l'ensemble des membres pour communiquer et échanger sur les besoins, les exigences et les spécifications. Il s'agit d'un élément central puisqu'il contient l'ensemble des informations décrivant le futur système. À l'issue du projet, si le cahier des charges est approuvé par le commanditaire, il sera transmis aux ingénieurs chargés de développer et d'industrialiser l'outil.

1. Par définition, la maquette n'est pas une représentation fidèle du futur système. Elle présente seulement les fonctions ou éléments du système informatique dont la faisabilité est à prouver.



EDF

EDF R&D
 MANAGEMENT DES RISQUES INDUSTRIELS
 FACTEURS HUMAINS
 1 avenue du Général de Gaulle - 92141 CLAMART CEDEX, +33 (1) 47 65 43 21
 Produit fabriqué sous système de management de la qualité certifié ISO 9001 : 2000

3 mars 2011

Projet EPO - Lot A2 : Description des fonctions utilisateurs de l'outil d'aide au pilotage de la montée en puissance à 3%Pn/h et éléments de maquetage associés

Stanislas COUX
 Aurore BRIANT
 Baligh EL HEFNI

H-T54-2009-03855-FR	2.0	
---------------------	-----	--

Le présent document s'inscrit dans le projet EPO dédié à l'amélioration de la performance des tranches nucléaires. L'objectif du lot A2 de ce projet est de fournir aux opérateurs de conduite des outils d'aide au pilotage de certains transitoires particulièrement délicats à conduire du fait de leur rareté et des contraintes liées à la sûreté qui les caractérisent.

Le transitoire de montée en puissance à 3%Pn/h après rechargement a été retenu pour la modélisation et le maquetage d'un outil d'aide au pilotage. En effet, ce transitoire est particulièrement délicat car d'une part, les opérateurs y sont rarement confrontés et d'autre part, la sûreté impose un gradient de montée limitée à respecter. Ainsi, l'enjeu est d'arriver le plus rapidement possible à 100%Pn tout en respectant les contraintes liées à la sûreté.

L'objectif final du lot A2 est la réalisation d'un outil d'aide à la conduite reposant sur un modèle physique de simulation du transitoire de montée à 3%Pn/h permettant la prédiction en temps plus que réel et à la demande de l'évolution neutronique et thermohydraulique de la tranche. L'impact humain et organisationnel de l'outil est évalué tout au long de son développement de manière à élaborer une interface adaptée permettant une prise de décision efficace.

La présente version 2 du document est une mise à jour de l'expression des besoins et de sa prise en compte dans les spécifications fonctionnelles de l'outil.

Accessibilité : Restreinte	Mention Spéciale :	Déclassement : 03/11/2015
Page de garde	Page 1 sur III	©EDF SA 2011

Figure 4.1 – Première page du cahier des charges élaboré par l'équipe du projet APTS.

4.1.1 Contenu du cahier des charges

Le cahier des charges est structuré en cinq parties. Celles-ci sont décrites dans le tableau 4.1.

Ce document contient l'ensemble des besoins, des exigences qu'elles soient retenues (parties 3 et 4) ou non (partie 5) pour le développement du système², et les spécifications associées. Deux types d'exigences sont distinguées. D'une part, les exigences générales orientent et guident la conception de l'ensemble de l'outil. D'autre part, il existe des exigences propres à chaque fonction. Ces dernières n'affectent pas d'autres fonctions.

2. En effet, pour des raisons de traçabilité, le document contient également l'ensemble des exigences non retenues et la justification de cette éviction.

N°	Description	Rédacteur(s)
1	Explication de la démarche suivie pour l'analyse des besoins	– Ergonome – Experts en thermodynamique et simulation
2	Principaux éléments de diagnostic issus de l'analyse du travail : caractérisation des futurs utilisateurs, description générale de l'activité des opérateurs, du contexte socio-organisationnel et des principales difficultés	– Ergonome
3	Exigences générales des utilisateurs finaux. Il s'agit d'exigences influant l'ensemble de la conception de l'outil	– Ergonome
4	Descriptions des fonctions utilisateurs et de l'interface. Contient l'ensemble des besoins, exigences et spécifications. Ces informations sont regroupées par fonction.	– Ergonome – Experts en thermohydraulique et en simulation
5	Limites de l'outil proposé. Cette partie contient l'ensemble des exigences non retenues. Celles-ci ne seront pas spécifiées.	– Ergonome

TABLEAU 4.1 – Description des parties constitutives du cahier des charges fonctionnel.

Seules les exigences retenues sont spécifiées. Les spécifications, quel que soit leur type, sont contenues dans la partie 4 du cahier des charges.

En tout, neuf fonctions ont été identifiées. Leur description suit le schéma suivant :

- Justification des exigences : description du contexte socio-organisationnel, de l'activité, des difficultés identifiées par l'ergonome ou exprimées par les opérateurs, c'est-à-dire le besoin justifiant l'exigence. Par exemple ³, « *En ce qui concerne l'évaluation par rapport aux limites de sûreté, les opérateurs suivent particulièrement [...] l'écart du DPax par rapport à sa limite droite (limite maximale à ne pas dépasser). Il est difficile de calculer la différence entre les deux car la limite droite n'est pas affichée en même temps que le DPax.* » ;
- Formulation des exigences : interprétation, par l'ergonome, des besoins utilisateurs issus de l'analyse du travail ainsi que des exigences exprimées par les opérateurs. Par exemple, de la justification précédente, l'ergonome infère que l'exigence est « *l'outil doit informer l'opérateur des marges dont il dispose par rapport aux limites de sûreté [...]* » ;
- Spécification : formulation d'une solution répondant aux exigences formulées. Par exemple, une partie de la spécification ⁴ de l'exigence précédente est « *[...] L'outil doit afficher [...] le DPax actuel en % Pn et la limite droite du DPax à la puissance actuelle, en % Pn. Les grandeurs sont à afficher avec une précision de 10⁻¹.* ». Plusieurs spécifications peuvent être issues d'une même exigence et plusieurs exigences peuvent s'appliquer à une seule spécification. Les fonctions sont toutes spécifiées de manière identique. Tout d'abord, il s'agit de préciser le but de la fonction, les entrées, les sorties, les ressources et les contraintes (lorsque cela est nécessaire). Puis, l'interface de la fonction est présentée. Elle est décrite de deux manières.

3. Pour des raisons de confidentialité industrielle, les exemples suivants sont partiellement modifiés sans que leur sens original soit altéré. Une liste non exhaustive des besoins identifiés est présentée en annexe E (p. 177).

4. L'exemple pris ici est volontairement court, pour ne pas gêner la lecture.

D'une part, un dessin représentant la future interface à programmer par les développeurs, et, d'autre part, un texte décrivant la dynamique de l'interface. Par exemple, « *l'opérateur peut sélectionner le volume en cliquant sur les flèches bleues à gauche ou en tapant le volume au clavier* ». Enfin, une fois l'ensemble des fonctions spécifiées, l'interface complète est présentée. Il s'agit de montrer l'architecture globale de l'interface indiquant l'intégration et les liens topographiques qu'entretiennent les interfaces des différentes fonctions. Ainsi, le cahier des charges contient deux représentations de la description du système : une représentation textuelle à travers la rédaction des spécifications et une représentation visuelle à travers le dessin de l'interface.

4.1.2 Le cahier des charges, résultat d'un travail individuel et collectif

Le cahier des charges est une production commune entre les ingénieurs du projet et l'ergonome. Il s'agit d'ailleurs de la seule production commune des membres de l'équipe projet. Le cahier des charges cristallise l'aboutissement d'un travail collectif et individuel des concepteurs de l'équipe.

La figure 4.2 indique la chronologie des activités des différents acteurs (demandeurs, ingénieurs, ergonome et utilisateurs) ayant contribué au contenu du cahier des charges. N'ayant pas de données sur les activités individuelles des autres acteurs, seules les activités individuelles de l'ergonome sont indiquées sur le schéma.

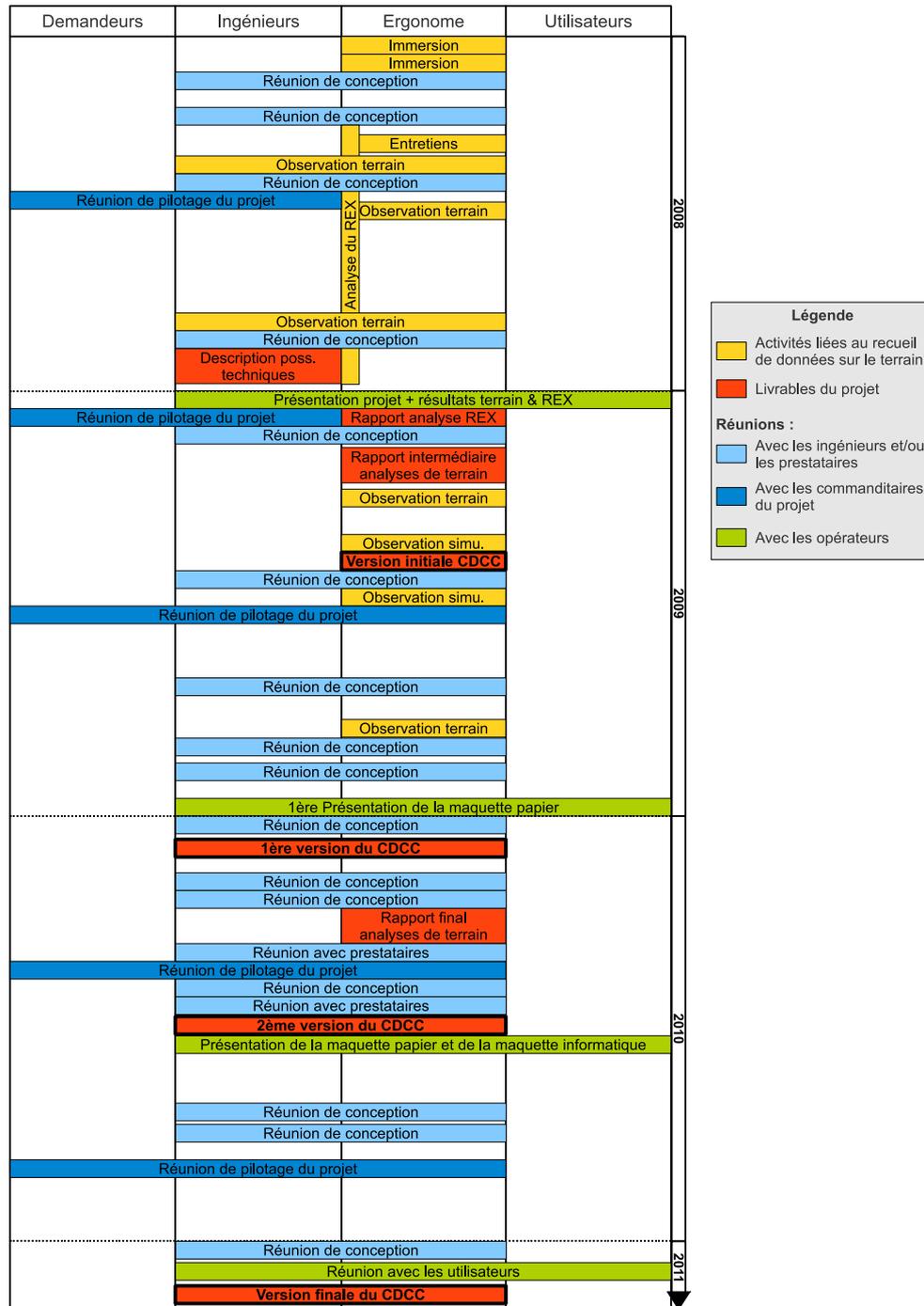


Figure 4.2 – Chronologie des activités contribuant à la construction du cahier des charges. Les activités individuelles des ingénieurs sont omises. Seule leur collaboration avec l’ergonome est présentée.

Pour l’ergonome, la production du cahier des charges a nécessité d’identifier les besoins des utilisateurs finaux et leurs exigences vis-à-vis du futur système. Ces éléments ont été établis grâce :

- au recueil de données sur le terrain, des entretiens avec les opérateurs, des observations de leur activité en situation réelle et en situation simulée. Lors de ces recueils successifs, les futurs utilisateurs étaient encouragés à exprimer directement des exigences de conception. Cependant, comme nous le verrons ultérieurement (chapitre 5), l'ergonome a identifié la plupart des exigences et des besoins. Ils ont ensuite été validés par les utilisateurs ;
- à l'analyse du retour d'expériences (REX) sur les événements significatifs pour la sûreté (ESS) lors de la phase d'exploitation étudiée dans le projet ;
- aux connaissances générales de l'ergonome sur les activités humaines finalisées dans des situations de travail analogues, et à son expertise en tant que concepteur.

L'ensemble des résultats obtenus lors de ces analyses est contenu dans les différentes productions individuelles de l'ergonome au cours du projet. Celles-ci sont au nombre de trois :

- un rapport sur l'analyse du REX
- deux rapports sur l'analyse de l'activité des opérateurs de salle de commandes, c'est-à-dire les futurs utilisateurs de l'outil.

Le travail des ingénieurs est, quant à lui, cristallisé dans deux documents :

- le premier décrit le fonctionnement de l'outil et présente les éléments logiciels relatifs au fonctionnement de l'outil ;
- le second présente la validation technique réalisée sur l'outil. Il s'agit de tests relatifs à son bon fonctionnement en termes de précision et de performance.

En plus des contributions individuelles, la construction du cahier des charges est ponctuée de diverses activités collectives, que ce soit entre les concepteurs (l'ergonome et les ingénieurs ou les prestataires chargés de développer la maquette informatique de l'outil), entre les concepteurs et les commanditaires du projet ou entre les concepteurs et les utilisateurs finaux. Chacune de ces activités collectives, selon les acteurs impliqués, vise un but distinct.

Les réunions entre les concepteurs (l'ergonome inclus) visent (1) à mettre en commun leurs travaux respectifs, et, (2) à informer chacun des membres de l'équipe de l'avancée de ses travaux. Par exemple, lors de ces réunions l'ergonome présentait, par exemple, les exigences de conception identifiées lors des analyses de terrain. Ainsi, il pouvait avoir l'avis des ingénieurs sur la faisabilité technique de la solution en termes de fonctions qu'il envisageait pour répondre aux exigences.

Les réunions entre les concepteurs et les prestataires avaient deux objectifs. D'une part, il s'agissait de vérifier l'avancée de leurs travaux par rapport au contrat passé entre EDF R&D et la société sous-traitante. D'autre part, ces réunions étaient l'occasion, pour l'ergonome, de vérifier que ses spécifications étaient respectées. Par ailleurs, il a également profité de ces réunions pour mettre à jour les spécifications d'interface. En effet, entre le moment de contractualisation, et le moment de sa réalisation effective, l'ergonome a modifié l'interface et les fonctions à plusieurs reprises. Ainsi, la version « commandée » aux prestataires n'était plus à jour. Les réunions avec eux étaient donc fondamentales pour que les développements réalisés soient en adéquation avec l'avancée de nos travaux.

Les réunions avec les opérateurs ont évolué au fil du projet. Deux objectifs étaient poursuivis lors de notre première rencontre. Il s'agissait, d'une part, de leur présenter le

projet en cours, et d'autre part, de leur montrer les résultats des premières observations et de l'analyse du retour d'expérience. Les buts des deux rencontres suivantes étaient (1) d'obtenir les retours d'un groupe représentatif de futurs utilisateurs sur une maquette présentant l'interface du futur outil, et (2) de susciter l'expression de nouvelles exigences de conception. Enfin, l'objectif de la dernière réunion avec les utilisateurs était de valider la version définitive du cahier des charges.

Les réunions avec les commanditaires du projet visaient à évaluer l'avancement du projet. L'équipe de conception présentait les résultats obtenus et les suites envisagées. L'enjeu de certaines de ces réunions était important puisqu'un avis négatif de la part du commanditaire pouvait signifier l'arrêt du projet. L'objectif de l'équipe de conception était donc également de les convaincre de l'intérêt de poursuivre les travaux engagés.

4.1.3 Une construction itérative

Comme indiqué précédemment et dans la figure 4.2, la construction du document a suivi le projet. Étant en perpétuelle évolution, il existe de nombreuses versions intermédiaires du document. Celles-ci seront présentées ultérieurement. Cependant, quatre versions « principales » de ce document peuvent être identifiées (cf. figure 4.3) :

1. La version initiale, rédigée uniquement par l'ergonome à l'issue d'une partie des analyses de terrain, était à usage de l'équipe de conception uniquement. Cette version présente des exigences directement formulées par les opérateurs lors des analyses de terrain et reprises par l'ergonome ainsi que des éléments uniquement identifiés par l'ergonome, mais validés informellement par les opérateurs au cours des observations. Ce document contient également les spécifications dérivées de ces exigences.
2. La première version, éditée sous forme de livrable du projet, est écrite conjointement par l'ergonome et les ingénieurs experts en thermohydraulique et en simulation. Il s'agit de la version confrontée pour la première fois officiellement devant un groupe d'opérateurs. Cette version contient cependant des éléments présentés de manière non officielle à des opérateurs lors des dernières observations sur le terrain et en simulateur.
3. La deuxième version inclut les retours des futurs utilisateurs lors de la première présentation officielle. Cette version intègre également des remarques issues des prestataires chargés de développer la maquette. Même si les spécifications ont évolué par rapport à la version précédente, seules les répercussions sur l'interface ont été apportées à cette version. De manière générale, l'interface précède la rédaction des spécifications liées.
4. La version finale, produite par l'ergonome et les ingénieurs du projet. Cette version prend en compte les remarques des utilisateurs issues de la dernière présentation officielle. Étant rédigé à la fin du projet, il s'agit du document le plus complet concernant les besoins, les exigences et les spécifications. Il constitue donc une trace importante du processus de conception.

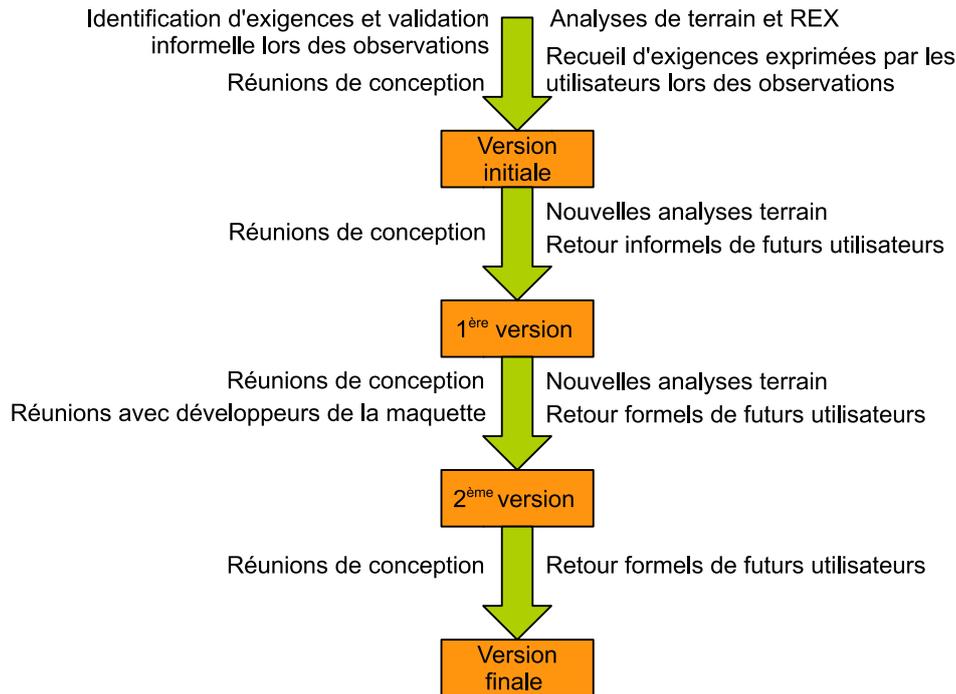


Figure 4.3 – Itération des versions successives du cahier des charges.

4.2 Ergonome, ingénieurs, utilisateurs et prestataires dans la production du cahier des charges

4.2.1 Des « cercles » d'acteurs de la conception

Au sein du projet APTS, il est possible d'identifier plusieurs « cercles » d'acteurs de la conception, géographiquement éloignés, ayant des compétences et jouant un rôle spécifique dans la construction du cahier des charges. Cette caractéristique a déjà été mise en lumière par Barcellini (2008) dans des collectifs de conception de logiciels libres. Tous ne concourent pas à la rédaction à proprement parler du cahier des charges. Cependant, tous les éléments qu'il contient sont, à un moment ou un autre, exprimés par l'un d'eux.

Le premier cercle est composé des membres de l'équipe projet. Ce sont des spécialistes de domaines divers. Au début, le projet compte ainsi des ingénieurs en modélisation thermohydraulique, des ingénieurs en systèmes logiques de contrôle-commande et des ergonomes⁵. Leur rôle est de réaliser l'étude de faisabilité mandatée par la DPN (le client). Ils sont chargés de concevoir un système informatique répondant aux exigences de celui-ci. Chacune des expertises représentées dans l'équipe est intégrée dans des départements différents d'EDF R&D (STEP⁶ pour les ingénieurs et MRI⁷ pour les ergonomes). Il s'agit d'une caractéristique fondamentale des projets en ingénierie concurrente : son organisa-

5. Le travail du second ergonome est d'encadrer celui du premier. Le second ergonome ne participe pas directement à la conception. Seul le premier réalise les analyses de terrain et participe à la rédaction du cahier des charges.

6. Simulation et Traitements pour l'Exploitation et la Production.

7. Management des Risques Industriels.

tion « transversale » vis-à-vis de départements d'une entreprise disposant de compétences différentes, mais complémentaires. Même s'ils utilisent des informations recueillies auprès des autres acteurs, ce sont les seuls acteurs du projet APTS à participer directement à la rédaction du cahier des charges. Les autres y participent indirectement en leur fournissant de nouvelles exigences et spécifications ou en modifiant, voire supprimant, les exigences et spécifications formulées par les concepteurs.

Le deuxième cercle comprend les experts et la main-d'œuvre externes. Ils sont appelés ponctuellement par l'équipe de conception selon ses besoins. Il s'agit d'experts dans divers domaines (en modélisation neutronique, en exploitation de réacteurs, en intégration de systèmes informatiques industriels) et des ingénieurs en modélisation thermohydraulique. Les premiers vont accroître le champ des expertises déjà représentées au sein du projet alors que les seconds vont augmenter (au sens de Schmidt, 1991) la capacité des spécialistes de la modélisation thermohydraulique à traiter les problèmes rencontrés. Les concepteurs de l'équipe sous-traitent ainsi une partie du développement de la maquette du système. Les concepteurs externes apportent une main-d'œuvre supplémentaire au projet.

Le troisième cercle comprend les futurs usagers des résultats du projet. Ce groupe peut être subdivisé en deux. D'une part, il s'agit de l'ensemble des utilisateurs prévus du système envisagé par l'équipe projet. Ici, deux sous-groupes sont identifiés. Premièrement, les opérateurs qui ont participé aux analyses de terrain menées par un des ergonomes du projet. Deuxièmement, un groupe d'opérateurs auquel les maquettes du système ont été présentées régulièrement au cours du projet à travers des réunions périodiques. Pour des raisons organisationnelles, peu d'opérateurs ont participé aux deux groupes. Ces deux groupes ont participé au projet en exprimant des exigences, et en validant ou en invalidant les exigences de conception formulées par l'équipe projet. D'autre part, les utilisateurs des résultats du projet sont l'ensemble des concepteurs chargés de l'industrialisation et de l'intégration dans une installation réelle de l'outil conçu dans APTS. Leur rôle est d'évaluer et de vérifier la faisabilité d'une telle tâche en fonction des choix de l'équipe projet. La collaboration entre eux et l'équipe projet s'est concrétisée à travers des réunions ponctuelles en face à face et des échanges par courrier électronique.

Enfin, le dernier cercle comprend le client, la DPN. Il est chargé (1) d'évaluer les résultats de l'équipe projet, et (2) d'avaliser, le cas échéant, l'industrialisation du système. Ces évaluations sont réalisées périodiquement au cours de réunions du comité de pilotage du projet. Le comité de pilotage comprend également des représentants des concepteurs chargés de l'industrialisation et des autres lots d'EPO.

4.2.2 L'équipe de conception et son évolution au cours du projet

L'équipe de concepteurs est composée de plusieurs catégories de membres : un chef de projet (le chef du projet EPO dont APTS est un des lots), un chef de lot et ceux dont le rôle principal est la conception⁸. Ils peuvent être regroupés selon leur expertise : modélisation thermohydraulique, traitement de signal de contrôle-commande, ergonomie et gestion de projet.

8. Cette distinction est cependant caricaturale. Le chef de lot est également impliqué dans le projet en tant que concepteur. Par contre, le chef de projet, lui, ne participe pas pleinement à la construction du cahier des charges, même s'il suit sa rédaction et participe à sa validation.

L'équipe projet a cependant connu des modifications (tableau 4.2). Ainsi, entre le début (tableau 4.2a) et la fin (tableau 4.2b) du projet, la compétence en traitement de signal en contrôle commande (qui était pourtant portée par le plus grand nombre de concepteurs) a disparu au sein du projet. À l'inverse, la compétence « modélisation thermohydraulique » s'est vue, à la fin de la première année du projet, renforcée. Le chef de lot d'origine est spécialisé en traitement du signal de contrôle-commande alors que le chef de lot qui le remplace est plutôt compétent en modélisation thermohydraulique.

	Chef de projet	Chef de lot	Concepteurs
Thermohydraulique			2
Contrôle-commande		1	2
Ergonomie			2
Gestion de projet	1		

(a) Début du projet.

	Chef de projet	Chef de lot	Concepteurs
Thermohydraulique		1	2
Contrôle-commande		0	0
Ergonomie			2
Gestion de projet	1		

(b) Fin du projet.

TABLEAU 4.2 – Évolution des compétences représentées au sein de l'équipe entre le début et la fin du projet. Le chiffre représente le nombre de concepteurs.

Cette évolution s'explique par deux facteurs concourants. D'une part, la solution technique privilégiée vers la fin de la première année du projet ne repose plus sur une technologie nécessitant des compétences en traitement du signal de contrôle-commande. Les concepteurs spécialistes de ce domaine ont donc quitté le projet. D'autre part, le chef de lot est parti d'EDF R&D pour une autre division de l'entreprise.

Chapitre 5

Observation de notre participation à la construction du cahier des charges

Comme nous l'avons déjà évoqué, dans le cadre du projet APTS, nous avons tenu deux postures. D'une part, celle d'ergonome contribuant à la conception d'un système informatique. À ce titre, nous étions chargé des analyses ergonomiques du travail et avons participé à la conception du futur système. À travers ces travaux, nous avons directement participé à la rédaction du cahier des charges. D'autre part, nous sommes en position de jeune chercheur analysant notre propre contribution ergonomique au projet dans le cadre de cette thèse.

Ce chapitre est consacré à l'analyse de ces deux postures. En premier lieu, notre position d'observateur participant au projet est détaillée. Ensuite, une analyse tirée de l'observation de notre pratique d'ergonome est présentée. Cette analyse, fondée sur notre participation est également appuyée par nos notes de terrain et des éléments factuels issus du projet APTS, comme les dates et les comptes rendus de réunion. Elle vise à cerner les éléments fondateurs de notre participation à la construction du cahier des charges.

5.1 Notre position de chercheur dans le projet APTS

Cette recherche s'inscrit dans le cadre des études sur la pratique et l'intervention ergonomique. Celles-ci peuvent être classées en deux catégories. D'une part, il existe des études sur l'activité de l'ergonome praticien. Parmi les recherches de ce type, il y a des travaux sur l'activité d'ergonomes experts en évaluation d'interfaces (Pollier, 1992), les modalités d'action de l'ergonome dans des projets de changements organisationnels (Carballeda, 1997), l'activité d'un ergonome consultant (Lamonde, 2000), et le rôle des outils ergonomiques dans l'intervention des praticiens (Querelle & Thibault, 2007). D'autre part, il existe des études visant l'évaluation de l'efficacité des méthodes employées en ergonomie¹. Notre recherche se situe plutôt dans la première perspective. Cependant,

1. Dans ces études, il s'agit généralement de comparer les résultats obtenus après l'utilisation de deux techniques différentes, au moins l'une d'elles provenant de l'ergonomie. De cette manière, des techniques

contrairement aux recherches citées, pour étudier le rôle de l'ergonome dans l'analyse des besoins, nous avons adopté une position d'observation participante.

Après une définition et une description de cette méthode, nous qualifions plus en détail notre propre position dans le projet. Enfin, nous présentons les atouts et les faiblesses de cette approche de recherche.

5.1.1 L'observation participante

Selon Fine (2001), l'observation participante trouve ses racines au début du 20^e siècle à l'école de sociologie de Chicago. Elle consiste en « l'engagement actif du chercheur avec les membres de la communauté qu'il ou elle veut étudier, typiquement en étant membre du groupe à part entière » (notre traduction, p. 11073). Cependant, le chercheur, en temps qu'observateur, doit aussi se mettre à distance de l'objet étudié. Il s'agit de la délicate équation de l'observation participante.

Pour Schwartz & Schwartz (1955, cité par Diaz, 2005), le « chercheur observateur » doit remplir trois conditions s'il veut participer au groupe :

- Avoir une *personnalité* (caractéristiques « personnelles » et formation) en adéquation avec celle attendue pour faire partie du groupe observé. Ces éléments vont faciliter l'intégration du chercheur dans le groupe étudié. Par exemple, en ce qui nous concerne, plusieurs de nos caractéristiques ont largement facilité notre intégration dans l'équipe de conception. Premièrement, nous avons une formation d'ergonome spécialisé dans la conception et l'évaluation de nouvelles technologies². Deuxièmement, nous avons déjà un goût prononcé pour le travail en équipe. Enfin, nos connaissances en informatiques – bien que peu approfondies – ont largement facilité le dialogue avec le reste de l'équipe de conception.
- Avoir une *expérience* professionnelle appropriée. Lors de nos études et après obtention de notre master en ergonomie, nous avons eu plusieurs expériences en conception, notamment dans le champ des technologies émergentes. Ces expériences nous ont permis de mettre en pratique une position d'ergonome co-concepteur. Avant de commencer le projet, nous avons donc déjà une hypothèse initiale (Petit et al., 2007) sur la manière dont un ergonome participe à une analyse des besoins. Cette hypothèse a largement façonné notre manière de travailler et la posture ergonomique adoptée. Nous verrons ces éléments plus en détail en discussion du chapitre.
- Avoir *conscience* de sa participation. Il s'agit ici de concilier les objectifs de neutralité du chercheur avec les enjeux de l'activité professionnelle (Diaz, 2005). Par exemple, en tant qu'ergonome concepteur à EDF R&D, nous devons (et devons toujours) respecter le secret industriel de l'entreprise. Notre activité de chercheur ne devait pas le mettre en péril. D'ailleurs, les exemples provenant du cahier des charges analysé dans les études empiriques ont parfois été tronqués. En outre, notre travail de recherche a certainement influencé notre travail de praticien. En effet, en nous documentant sur la conception, nous avons acquis, au cours de la thèse,

d'évaluation d'interfaces (Bastien et al., 1998), des méthodes de production de spécifications pour la conception d'interfaces (Miller & Vicente, 2001), ou des méthodes d'évaluation de la lisibilité et de la compréhension de diagrammes (Kutar et al., 2002) ont vu leur efficacité évaluée.

2. Notre formation et nos expériences antérieures significatives sont détaillées dans l'annexe A (p. 166).

de nombreuses connaissances théoriques et conceptuelles sur la conception. Par exemple, si, avant la thèse, nous faisons la distinction entre spécifications fonctionnelles et non fonctionnelles, la distinction de ces dernières en spécifications opérationnelles et organisationnelles nous était inconnue. Au cours de nos expériences antérieures, nous avons déjà produit ce type de spécifications. Nous ne les avons cependant jamais conceptualisées de cette manière.

Ainsi, nous réunissons les conditions nécessaires à notre participation à l'analyse des besoins dans un projet réel de conception. Nous abordons quelle forme cette participation a revêtue dans la suite de ce chapitre.

5.1.2 Qualifier notre participation

Soulé (2007) distingue deux types d'observation participante. D'une part, une observation « clandestine » ou « non déclarée » (Abercrombie et al., 2000) dans laquelle le groupe n'a pas connaissance d'être l'objet des recherches d'un de ses membres. D'autre part, plus classiquement (et éthiquement), l'observation participante est « à découvert ». Notre cas est un peu particulier. Dans les premiers temps du projet, notre recherche n'était pas axée spécifiquement sur notre contribution en tant qu'ergonome et notre collaboration avec les autres acteurs pour construction le cahier des charges. Puis, lorsque nos travaux se sont focalisés sur cet objet, nous avons ouvertement fait part de nos intentions aux membres de l'équipe de conception. Ce nouveau positionnement a d'ailleurs été accepté de manière univoque.

Par ailleurs, Arborio & Fournier (2010) notent l'importance de distinguer les cercles d'acteurs avec qui l'observateur participant est en interaction et dont la double posture est connue. Dans notre cas, seule l'équipe de conception (et notre hiérarchie au sein du département MRI) était au courant de la recherche menée sur la contribution ergonomique au projet. Les autres acteurs, comme les opérateurs, les commanditaires, ou les développeurs sous-traitants, ne l'étaient pas. Ainsi, ils traitaient avec nous comme ils auraient traité avec n'importe quel autre membre du projet. Par exemple, lors des observations auprès des opérateurs, nous nous présentions en tant que doctorant en ergonomie. Nous justifions notre présence par le projet APTS, et non par notre travail de recherche sur l'intervention ergonomique.

Enfin, la plupart des auteurs distinguent (par exemple, Fine, 2001) trois degrés de participation de l'observateur :

- périphérique : l'observateur est en contact avec le groupe, mais ne participe pas à ses activités ;
- actif : l'observateur participe et prend des responsabilités ;
- immergé : l'observateur est semblable aux membres naturels du groupe, partageant les mêmes sentiments et les mêmes objectifs.

Notre recherche se situe clairement dans le dernier cas. Cette immersion a d'ailleurs été largement renforcée par l'évolution de notre positionnement. Au début du projet, nous n'étions pas observateur mais simple participant. Lorsque notre position d'observateur a changé, notre posture de participant a – certes – évolué, mais notre implication dans le projet ne s'est pas trouvée complètement modifiée. Ainsi, nous sommes resté investi de la même manière que les autres membres de l'équipe. Nous verrons dans la section

suiivante comment nous avons essayé d'éviter les « pièges » de l'observation participante, en particulier vis-à-vis du risque d'être « aspiré » par la participation.

5.1.3 Faiblesses de l'observation participante

Les faiblesses de l'observation participante sont bien connues. Il est possible de les classer en deux types. D'une part les faiblesses liées à la faisabilité même de la méthode, et, d'autre part, ses faiblesses épistémiques.

Les critiques sur la faisabilité méthodologique de l'observation participante sont les suivantes. Premièrement, il semble difficile de participer activement à l'activité du groupe, d'observer, en même temps, ce que le groupe fait (Barfield, 1997; Bourdieu, 1978), et de se mettre à une distance suffisante pour prendre le recul nécessaire au travail scientifique (Diaz, 2005). Pour parer à cette difficulté, les auteurs proposent d'alterner les phases de participation et les phases de prise de recul permettant d'observer et d'analyser, a posteriori, la participation et le groupe. C'est ce que nous avons fait dans le cadre de notre thèse. L'alternance était d'autant plus aisée à réaliser que nous avions deux bureaux à notre disposition. Un bureau à EDF R&D, dans lequel nous nous consacrons à notre participation, et un bureau au CNAM, dans le laboratoire d'ergonomie, dans lequel nous analysons notre participation. Deuxièmement, si cette méthode a un coût financier relativement bas, elle suppose un coût temporel très important (Barfield, 1997; Fine, 2001) pour le chercheur. En effet, ce genre d'observation peut s'étaler sur plusieurs mois, voire années. Par exemple, dans notre cas, l'observation participante a duré le temps du projet APTS, c'est-à-dire trois ans.

Les principales faiblesses épistémiques de l'observation participante sont au nombre de trois. Premièrement, l'observateur risque de se comporter en tant que chercheur plutôt qu'en tant que participant, ce qui va modifier le comportement des autres membres du groupe (Barfield, 1997). Ainsi, les éléments recueillis via cette méthode seraient forcément biaisés. Encore une fois, l'alternance entre observation et participation semble intéressante pour juguler cette difficulté. Cependant, la posture d'observateur implique nécessairement des modifications du comportement en tant que participant. Par exemple, dans notre cas, pour recueillir des données exploitables, nous avons enregistré la plupart des réunions de conception entre l'équipe, ainsi que les rencontres avec un groupe d'utilisateurs. Ainsi, nous avons sans doute modifié le comportement des acteurs en présence. Cependant, comme au départ du projet nous avons uniquement une position de participant et non d'observateur, nous avons pu gagner le statut d'acteur de la conception à part entière avant d'avoir également le statut d'observateur. Ainsi, nous pensons que les effets de nos actions en tant qu'observateur sur le comportement des autres acteurs du projet sont limitées.

Deuxièmement, l'observateur ne voit qu'un point de vue, ce qui peut entraîner un manque d'objectivité de sa part (Fine, 2001). Pour contrer cela, l'observateur peut notamment successivement porter différents rôles dans le groupe observé (Diaz, 2005). Notre recherche s'attachant notamment à comprendre le rôle de l'ergonome, il ne nous était pas envisageable d'alterner notre rôle avec un autre dans l'équipe de conception. De plus, cette alternance aurait également nécessité la formation, les connaissances et l'expérience des ingénieurs du projet dont nous ne disposons pas. Pour atténuer le risque de manque d'objectivité, l'analyse de notre participation est basée sur des faits vérifiables et des

notes de terrains. Cette analyse a également été validée par les autres acteurs du projet. Enfin, et notamment pour ces deux raisons, Barfield (1997) conclut que l'observation participante ne peut être utilisée seule pour produire des connaissances. En ce qui nous concerne, trois études empiriques complètent l'analyse de notre participation au projet. L'ensemble des faiblesses citées ci-dessus explique l'utilisation limitée de cette technique. Pourtant, celles-ci sont contrebalancées par de nombreux avantages.

5.1.4 Atouts de l'observation participante

L'atout principal de l'observation participante est, plus que toute autre méthode, de permettre une compréhension et une description complète et détaillée des situations étudiées (Fine, 2001). L'observateur est au plus près des acteurs observés. La participation permet d'obtenir une confiance bien plus importante de la part des autres acteurs, donnant ainsi accès à des éléments et des informations invisibles à l'observateur extérieur (Diaz, 2005). En outre, l'observation participante permet de comprendre le point de vue des acteurs formant le groupe social analysé. Un acteur agit en fonction de la façon dont il perçoit le monde, et non de la manière dont un observateur étranger voit le monde (Blumer, 1966, cité par Diaz, op. cit.). Ainsi, l'observation participante permet d'accéder à leurs processus d'interprétation (Blumer, 1966). L'observateur peut alors comprendre la signification de la situation du point de vue des acteurs, et non du point de vue d'un chercheur extérieur à la situation (Barfield, 1997). De cette manière, l'observateur a également un accès direct bien plus aisé, et de manière dynamique, aux motivations des autres acteurs (Fine, 2001). Par exemple, notre positionnement a grandement facilité l'analyse des données issues des trois études empiriques menées. En effet, nous avons un accès privilégié à l'ensemble des acteurs du projet. Catégoriser l'ensemble de ces données aurait été bien plus compliqué pour un observateur extérieur.

Par ailleurs, les descriptions de comportements produites en observation participante ont une validité écologique que les observations classiques ne peuvent avoir (Fine, 2001). L'absence d'observateur extérieur est censée rendre le comportement des autres acteurs au plus près de leur comportement naturel. De plus, ces descriptions, de par les connaissances théoriques de l'observateur, sont directement utiles aux sciences sociales et perturbent moins le travail des groupes observés (Hugues, 1996).

Enfin, l'observation participante facilite l'accès à certains terrains d'investigation relativement fermés aux observateurs extérieurs (Diaz, 2005; Soulé, 2007). En ce qui nous concerne, les projets de conception d'EDF R&D sont tous soumis au secret industriel. Ce secret industriel couvre l'ensemble des données traitées dans la thèse. Ainsi, sans participation, il aurait été difficile d'accéder à l'ensemble de l'activité d'un ergonome depuis ses analyses de terrain jusqu'à sa participation au cahier des charges. Analyser nous-même notre participation paraît être la meilleure voie pour comprendre la contribution d'un ergonome à ce type de projet.

5.2 Notre activité en temps qu'ergonome dans le projet APTS

En référence aux formes d'intervention ergonomique en analyse des besoins, nous avons, dans APTS, une position de co-concepteur. Cette section décrit les éléments de notre activité ayant concouru à la construction du cahier des charges, le produit final du projet. Il n'est pas question ici de détailler les difficultés rencontrées et éprouvées par l'ergonome, il s'agit de décrire de manière factuelle les éléments pertinents de cette activité.

5.2.1 Les phases de notre intervention

Même si leur découpage est artificiel, car elles sont liées, il est possible de distinguer trois phases principales dans notre intervention au sein du projet (figure 5.1). D'une part, la compréhension de la situation et du travail des futurs utilisateurs en vue d'identifier les exigences de conception du futur outil, et, d'autre part, l'identification de ces exigences, et, enfin, leur spécification.

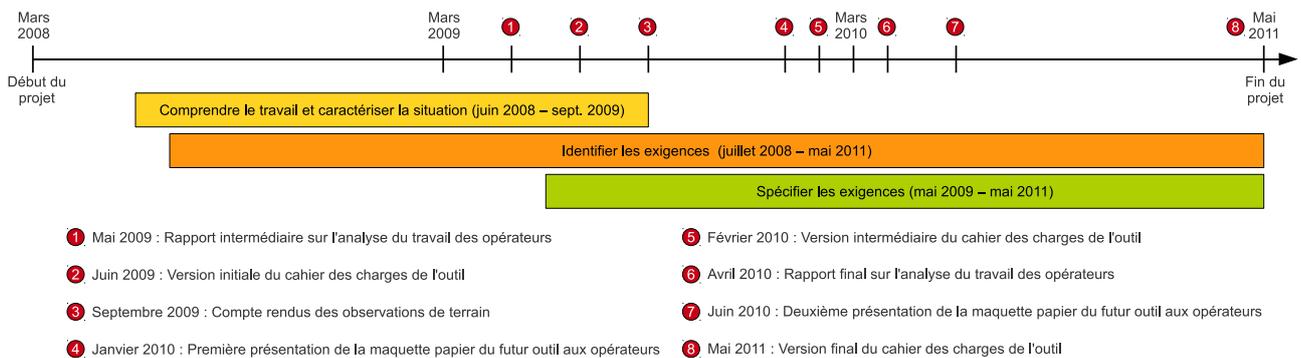


Figure 5.1 – Phases de notre activité dans le projet APTS.

L'ensemble des phases se chevauche. Par exemple, la rédaction des spécifications a débuté alors que le recueil de données sur le terrain, censé être terminé, ne l'était pas. Dans la suite de la section, nous détaillons chacune de ses phases, et détaillons les liens les unissant.

5.2.2 Recueillir les données nécessaires à la compréhension des besoins des utilisateurs finaux

Selon Maguire & Bevan (2002) ou la norme ISO 13407 (1999), le recueil d'informations pertinentes pour la conception est la première étape de l'analyse des besoins. Ce recueil participe à la compréhension du travail et des caractéristiques de la situation nécessaire à l'identification des besoins³.

3. Les résultats de ces analyses sont synthétisés en annexe D (p. 172).

5.2.2.1 Se familiariser avec le terrain, un préalable indispensable

L'industrie nucléaire est un domaine complexe. L'activité des opérateurs de salle de commande l'est également. Avant de commencer le recueil des données à proprement parler, nous avons suivi deux semaines d'immersion en salle de commande⁴. Une semaine d'immersion consiste à suivre le travail d'une équipe d'opérateurs de conduite tout au long de leur semaine de quart. Il s'agit de découvrir les tâches et l'activité des opérateurs, l'organisation des équipes de conduite ainsi que le fonctionnement de l'installation en général.

Ces semaines ont également été l'occasion de nouer des contacts que nous activerons plus tard, lors des observations en situation réelle de montée en puissance. Donc, en plus d'appréhender le monde de l'exploitation nucléaire, ces semaines ont également été déterminantes pour la suite du projet et notre travail de terrain.

5.2.2.2 Trianguler les méthodes de recueil de données pour accéder aux besoins

Pour comprendre et identifier les besoins formant la base du cahier des charges, cinq méthodes ont été utilisées :

- entretiens semi-dirigés ;
- analyse du retour d'expérience (REX) concernant les événements significatifs pour la sûreté (ESS) durant la montée en puissance⁵ ;
- observations en situation réelle en salle de commande ;
- observations en situation simulée pleine échelle ;
- questionnaires.

Au cours de ce recueil de données, que ce soit en situation réelle ou en situation simulée, les opérateurs ont exprimé peu d'exigences quant au nouvel outil. En tout, seules cinq exigences ont été formulées directement (et reprises par l'ergonome) dont deux avant qu'une maquette ne leur soit montrée. En fait, les opérateurs ont formulé la plupart de leurs exigences lors des deux présentations de la maquette, comme nous le verrons ci-après.

Entretiens préliminaires

En juin 2008, de par nos contacts, accompagné par deux ingénieurs du projet, nous avons pu réaliser des entretiens avec quatre opérateurs. Ils ont eu lieu en salle de commande, en pleine activité (mais en dehors d'une période de montée en puissance). Ils ont permis de recueillir des éléments techniques (ce qui se passe du point de vue du process, les principaux risques, etc.) et organisationnels généraux (organisation de l'équipe, rôle des membres, formation, etc.) concernant le pilotage de la montée en puissance. Des éléments de l'activité ont également été récoltés (stratégies de pilotage employées, etc.). Nous avons, à cette occasion, identifié les phases de la montée en puissance considérées comme plus difficiles par les opérateurs. Ces premiers éléments nous ont donné une vision générale

4. Les immersions ont également été accompagnées de lecture de référence dans le domaine, notamment [retrouver les REF dans mon bureau !!].

5. L'analyse du REX a été menée en parallèle des trois premières observations en situation réelle.

de la montée en puissance. Cependant, à l'issue de ces entretiens, aucune exigence et aucun besoin n'ont été identifiés par l'équipe de conception ni exprimés par les opérateurs. Tous les éléments recueillis ont ensuite été détaillés grâce à l'analyse du REX et aux observations réalisées en situation réelle de montée en puissance et en simulateur pleine échelle.

L'analyse du REX pour la conception

L'analyse du REX⁶ a porté sur les « événements significatifs pour la sûreté » (ESS) survenus lors de la montée en puissance après rechargement. Cette analyse a permis de mettre en lumière les phases délicates de cette manœuvre du point de vue de la sûreté et de déterminer les principales causes d'ESS. Tous ces éléments ont été utilisés pour préparer et alimenter les diverses observations sur le terrain. En effet, l'analyse du retour d'expérience nous a donné un bon aperçu des phases à étudier plus en détail en situation réelle. Cependant, les observations sur site ont également participé à une meilleure compréhension des ESS. Les descriptions des situations de travail étant parfois succinctes dans les rapports d'ESS, une connaissance plus précise de celles-ci améliore la compréhension des événements. De plus, les observations en situation réelle ont aussi été l'occasion d'apprendre le vocabulaire spécifique utilisé dans la conduite du réacteur non appréhendé pendant les immersions ou les entretiens préliminaires. Une meilleure connaissance de ce langage est appréciable pour comprendre les descriptions d'événement contenues dans les rapports d'ESS. Enfin, plusieurs exigences de conception sont directement issues de cette analyse.

Les observations en situation réelle, une étape indispensable

Les observations en situation réelle ont démarré en juillet 2008 et se sont terminées en septembre 2009. Au total, cinq observations de l'activité en situation réelle de montée en puissance ont été effectuées.

Lors des observations sur site, nous prenions des notes. Deux types peuvent être distingués : d'une part, des besoins actuels des opérateurs, constitués des éléments descriptifs de leur activité et de leur situation de travail, et, d'autre part, des exigences concernant le futur système. Les notes concernant l'activité et la situation de travail constituent la matière principale des cahiers de notes. Il s'agissait de répertorier les éléments ayant du sens dans notre démarche de compréhension de l'activité et constituant un besoin pour les opérateurs. Par exemple, « *pendant la stabilité, l'objectif des opérateurs est de contrer le Xénon, car c'est lui qui influence le plus la Tmoy* ». Certaines de ces notes sont horodatées pour nous aider à reconstruire la dynamique de l'activité lors de certains événements. D'autre part, ces besoins sont liés à des idées⁷ concernant les exigences que l'outil devra remplir. Il s'agit d'exigences fonctionnelles visant le soutien de l'activité des opérateurs. Par exemple, « *idée : il faut aider les opérateurs à trouver une stratégie pour garder la stabilité et l'obtenir rapidement* ». Certaines exigences sont donc issues et formulées directement lors des observations à partir d'éléments et d'événements auxquels nous avons assisté. Les notes nous ont donc servi (1) à répertorier des éléments significatifs de l'activité et de la situation de travail, et (2) à consigner nos idées concernant le futur système.

6. L'annexe C (p. 170) présente plus en détail cette analyse.

7. Le terme « idée » est préféré car, à ce moment du projet, aucune exigence n'est formalisée.

La première observation de l'activité des opérateurs lors de la montée en puissance après rechargement a eu lieu en juillet 2008. Deux membres de l'équipe de conception ont également assisté à cette montée en puissance. À l'issue des observations, nous avons consigné une dizaine de besoins dans un compte rendu. Certains sont spécifiques au site sur lequel l'observation s'est déroulée. Par contre, une majorité des besoins sont partagés par l'ensemble des sites sur lesquels des observations ont pu être effectuées. Trois idées d'exigences fonctionnelles sont notées lors de cette première observation.

La seconde observation sur site s'est déroulée en août 2008. Nous étions le seul membre de l'équipe de conception présent sur site. Le compte rendu d'observation rapporte dix besoins. Il s'agit aussi bien d'éléments problématiques de l'activité des opérateurs que d'éléments caractéristiques de la situation lors de la montée en puissance après rechargement. Dans nos notes, quatre nouvelles idées d'exigences fonctionnelles sont identifiées. Elles s'ajoutent à celles formulées à la suite de la première observation sur site.

La troisième observation en salle de commande a eu lieu en novembre 2008. Nous étions accompagné d'un des ingénieurs du projet. Comme les autres observations, celle-ci fut l'occasion d'identifier et de formaliser de nouveaux besoins. Cette observation n'a cependant pas donné lieu à la rédaction d'un compte rendu. Les éléments recueillis ont directement été intégrés dans un des livrables du projet. Celui-ci intègre toutes les informations récoltées par nos soins au cours des trois observations sur site. Le livrable contient une description (1) des aspects individuels et collectifs de l'activité des opérateurs, ainsi que (2) des caractéristiques techniques et organisationnelles de la situation de montée en puissance à prendre en compte dans la conception. Les points les plus pertinents sont résumés dans une dernière partie. Enfin, par rapport à l'ensemble des besoins identifiés, et en réponse à la demande du chef de projet, nous avons formulé des exigences de conception en lien avec les possibilités des technologies envisagées par les ingénieurs. Ce point particulier sera davantage discuté dans la section 5.2.3.

La quatrième observation sur le terrain a eu lieu en mars 2009. Cette fois, aucun membre de l'équipe de conception ne s'est joint à nous. Ces observations furent l'occasion de présenter informellement aux opérateurs en salle de commande les premières exigences fonctionnelles décrites dans le livrable présenté précédemment. Celles-ci ont été validées par les opérateurs. Par ailleurs, nous avons formulé et pris en note de nouveaux besoins et les exigences de conception correspondantes. En effet, le compte rendu d'observation est structuré en tableau à deux colonnes. Les besoins des utilisateurs sont contenus dans la première, et les exigences de conception qui en découlent apparaissent dans la seconde.

Enfin, la dernière observation sur site a eu lieu en septembre 2009. Au cours de celle-ci, nous montrions systématiquement la maquette statique de l'interface aux opérateurs. Après une présentation des principales fonctions, nous encourageons ces derniers⁸ à discuter, que ce soit positivement ou négativement, des fonctionnalités et de l'interface prévues. Le compte rendu de la réunion contient une quinzaine de besoins et les exigences correspondantes dont deux ont été formulés par les opérateurs.

Les observations en situation simulée pour affiner la compréhension

De mai à juillet 2009, grâce aux contacts informels noués au cours des observations pré-

8. Avec des questions et des relances du type « quels sont les éléments manquants ? », « lesquels sont peu ou pas utiles ? » ou « que faudrait-il modifier ? ».

cédentes, nous avons assisté aux séances de formation à la montée en puissance de cinq équipes de conduite. Chaque équipe reçoit une formation étalée sur deux jours. La moitié du temps est consacrée à de la formation théorique en salle et l'autre moitié à de la formation sur simulateur pleine échelle. Ici encore, des besoins ont été identifiés et consignés dans un compte rendu. Ces séances furent l'occasion de soumettre informellement les exigences fonctionnelles et les maquettes de l'interface déjà produites aux opérateurs de deux équipes⁹. Les opérateurs ont globalement validé ces exigences. Ils ont, de plus, formulé une exigence d'interaction.

5.2.2.3 Valider nos résultats de terrain auprès d'un groupe d'opérateurs

La première rencontre avec un groupe d'opérateurs se réunissant régulièrement pour discuter de leur métier a lieu en janvier 2009. Il s'agit du « groupe de travail des opérateurs de la conduite ». Dans la suite du document, nous parlerons de *GT conduite* pour se référer à ce groupe d'opérateurs. L'accès à ces réunions n'était pas prévu ni dans le contrat, ni dans le projet. Assister à ces réunions fut rendu possible grâce aux relations nouées par l'autre ergonome du projet, celui-ci ayant déjà travaillé avec le *GT conduite*. Lors de cette réunion, nous avons présenté les besoins identifiés lors de nos trois premières observations et de notre analyse du retour d'expérience. L'ensemble de ceux-ci a été validé par les opérateurs. Cette réunion fut également l'occasion de valider le besoin de formation des opérateurs à la conduite du réacteur lors de la montée en puissance¹⁰. Grâce à nos relations avec l'animateur du *GT conduite*, ce besoin a d'ailleurs été pris en compte par EDF. Depuis notre intervention, le plan de formation national des opérateurs comprend ladite formation.

En avril 2009, a lieu la deuxième rencontre avec les opérateurs. Cette réunion, organisée suite à la précédente avec l'animateur du *GT conduite*, fut l'occasion de rencontrer un autre groupe de travail (indépendant du *GT conduite*) dont les travaux étaient complémentaires aux nôtres. Alors que nous travaillons sur des technologies d'aide, ce GT s'attachait à proposer une nouvelle stratégie de pilotage de la montée en puissance et une meilleure organisation des manœuvres de conduite afin de gagner du temps sur l'ensemble de la montée en puissance. Par ailleurs, lors de cette réunion, un questionnaire construit par l'ergonome pour valider les besoins identifiés lors des observations a été diffusé aux opérateurs du *GT conduite*¹¹.

5.2.3 Formuler les exigences et les spécifications contenues dans le cahier des charges

Comme vu précédemment, il est possible de retrouver des traces de nos exigences fonctionnelles dans nos notes de terrain, et ce, dès le début des observations sur site. Les deux étapes sont donc réalisées en parallèle.

9. La maquette papier n'était pas produite lors de la participation aux formations des trois premières équipes.

10. Il s'agit de la phase d'exploitation étudiée dans le cadre d'APTS.

11. L'annexe E (p. 177) présente une liste non exhaustive des besoins soumis à validation auprès des futurs utilisateurs.

Cependant, même si les premières exigences fonctionnelles ont été identifiées directement lors des observations, la plupart de celles-ci ont été formalisées en dehors des périodes d'observation, lors de la rédaction de comptes rendus. La première formalisation de ces exigences remonte à fin février 2009. À cette période, le chef du projet APTS, nous a demandé de rédiger des exigences répondant aux besoins des opérateurs, mais tenant compte des possibilités de la technologie adoptée pour le projet. En effet, en novembre 2008, les ingénieurs du projet ont produit un document présentant les capacités de cette technologie à travers la description de fonctions. Malgré une première lecture de ce document, ce n'est que lors d'une réunion de conception en février 2009 que ces éléments ont été discutés et clarifiés à nos yeux. Une fois ces informations comprises, nous avons pu formaliser la première fonction de l'outil. En fait, celle-ci fait appel à une possibilité de la technologie non incluse dans le document. C'est en discutant des possibilités techniques avec les ingénieurs que nous avons découvert une capacité permettant d'assurer cette fonction¹². Il en va de même pour la plupart des autres fonctions. Comprendre les possibilités techniques offertes fut indispensable pour formaliser les exigences contenues dans le rapport¹³.

En fait, avant de comprendre les possibilités de la technologie envisagée, nous avons déjà pensé des fonctions en plus de celles consignées lors des observations. Celles-ci ont été imaginées à partir (1) des besoins identifiés dans les comptes rendus d'observation, mais aussi (2) de nos connaissances propres et expériences antérieures, ainsi que (3) d'une analyse de la littérature sur les activités de pilotage¹⁴. L'idée de base de la principale fonction de l'outil est d'ailleurs issue de cette analyse.

En juin 2009, après la rédaction du rapport contenant les premières exigences fonctionnelles, nous avons rédigé une première version de ce qui deviendra le cahier des charges¹⁵. Ce document fait suite à une demande du chef de projet concernant la nécessité de disposer d'une maquette de l'interface en vue d'une présentation aux opérateurs du *GT conduite*. Le document présente cependant plus que les spécifications de l'interface sous forme de maquette papier¹⁶. Celui-ci contient les spécifications de quatre fonctions. Ces dernières décrivent précisément ce que l'outil doit faire pour répondre aux exigences identifiées par nos soins ou exprimées par les opérateurs¹⁷. Le document, envoyé à l'ensemble des concepteurs de l'équipe, est ensuite devenu la base pour les discussions dans les réunions de conception. Il a été transmis pour la première fois avant une réunion de conception. Lors de celles-ci, les concepteurs ont discuté son contenu. Les ingénieurs ont ainsi demandé des modifications que nous avons implémentées par la suite¹⁸. Ce mode de fonctionnement de l'équipe de conception a, de manière générale, été conservé dans la suite du projet. Nous faisons évoluer le document en réponse aux remarques et demandes de modification émanant des autres concepteurs, des utilisateurs ou de notre propre chef, par exemple, à la suite des dernières observations sur le terrain.

La première présentation officielle de la maquette aux opérateurs a été effectuée en dé-

12. Des traces de cette fonction sont retrouvées dans nos notes de réunion.

13. Le document est sorti de manière officielle en mai 2009.

14. Il s'agit de l'activité principale des opérateurs lors de la montée en puissance après rechargement.

15. Cependant, la version finale est co-rédigée avec les ingénieurs du projet.

16. Une des versions de la maquette est présentée en annexe F (p. 178).

17. L'analyse de ces éléments est l'objet de la première étude empirique de la thèse et ne sera donc pas détaillée ici.

18. L'analyse de l'évolution de ce document est l'objet de la troisième étude empirique de la thèse.

cembre 2009, dans le cadre du *GT conduite*. Cette réunion a eu lieu après la sortie de la première version officielle du cahier de charges cristallisant le travail de l'équipe de conception. La maquette présentée est l'aboutissement du travail des concepteurs¹⁹, et du retour des opérateurs obtenus sur des versions antérieures lors des dernières séances de simulation et des dernières observations sur le terrain. Cette présentation s'est déroulée en deux temps. D'abord, nous avons présenté, accompagné de deux ingénieurs du projet, les fonctions envisagées pour le système suivies de la maquette papier de l'outil. Tout au long de la réunion, les opérateurs étaient encouragés à faire des remarques aussi bien positives que négatives. Une dizaine d'exigences nouvelles ont été recueillies par ce biais. À la suite de cette réunion, nous nous sommes chargé d'implémenter les exigences exprimées par les opérateurs.

En vue de préparer la rencontre suivante, en réponse à la demande de l'animateur du *GT conduite*, le chef de projet a décidé de faire développer une maquette informatique. Il s'agit d'une version dynamique de la maquette papier prenant en compte les exigences des opérateurs et la traduction que nous avons pu en faire en termes de spécification. Le développement a été réalisé par des prestataires. Nous nous sommes chargé, avec l'aide d'un des ingénieurs du projet, de suivre leur travail. Au cours du développement, les prestataires ont également été à l'origine de nouvelles spécifications d'interaction. Celles-ci, après validation par nos soins, ont été implémentées, aussi bien dans la maquette papier que dans la maquette informatique.

Les réunions de conception suivantes et nos séances de travail individuel ont également été l'occasion de faire évoluer la maquette papier. Même si des ajustements ont pu être implémentés, la maquette dynamique présentait nécessairement une version antérieure à la version mise à jour régulièrement par nos soins au fur et à mesure des réunions de conception et des rencontres avec les futurs utilisateurs.

La deuxième et dernière présentation de la maquette du système aux opérateurs du *GT conduite* a lieu en juin 2010, soit sept mois après la première. Comme la fois précédente, nous avons, avec l'équipe de conception, présenté notre maquette papier. Nous avons également dévoilé la maquette dynamique. Cette fois encore, de nouvelles exigences sont identifiées par les opérateurs et recueillies par nos soins. Les solutions trouvées pour répondre à ces nouvelles exigences sont intégrées dans la version finale de la maquette de l'outil et le cahier des charges. Cette version finale a ensuite été validée par des représentants des utilisateurs lors d'une dernière réunion de conception.

5.3 Discussion sur notre implication au projet APTS en tant qu'ergonome

Pour conclure, nous discutons deux aspects de notre implication en tant qu'ergonome au sein d'APTS. D'une part, nous éclairons les écarts constatés entre l'intervention telle qu'elle fut prescrite (par le contrat nous liant à EDF R&D), telle qu'elle est décrite dans la littérature en ergonomie et la réalité de celle-ci. D'autre part, nous discutons de la construction sociale de notre intervention.

19. La maquette cristallise également les compromis entre les concepteurs.

5.3.1 Écarts par rapport au contrat initial et à la littérature

Si l'on considère notre tâche comme étant l'ensemble des objectifs identifiés dans le contrat liant EDF R&D et le CNAM sur notre participation au projet APTS, plusieurs distinctions notables peuvent être mises en évidence.

Nous étions censé participer uniquement à la conception de l'interface, notamment au travers de la rédaction des spécifications correspondantes et la réalisation d'une maquette. Nous sommes cependant allés au-delà de notre mandat originel en participant également à la définition des aspects fonctionnels, organisationnels et opérationnels. Ceci représente une part importante de notre activité, mobilisant beaucoup de nos ressources. Notre volonté de participer activement à la définition d'autres dimensions du système que l'interface provient certainement de nos hypothèses initiales relatives à l'intervention ergonomique en conception. En effet, au cours de nos études et de nos expériences précédentes, nous avons appris à spécifier les divers aspects, notamment fonctionnels, des systèmes informatiques. De notre point de vue, définir ces aspects fait partie intégrante de l'intervention ergonomique. Cependant, notre volonté de participer à l'ensemble des spécifications ne permet pas d'expliquer notre contribution effective. Plusieurs autres éléments ont été nécessaires.

Premièrement, cette volonté devait être acceptée par les autres concepteurs. Il n'était ni possible ni souhaitable de travailler contre le gré des autres membres de l'équipe.

Deuxièmement, assurer une partie des spécifications nous a demandé d'articuler notre travail avec celui des autres concepteurs. La dimension collective de la spécification, inhérente au processus, est rarement prise en compte. Dans le projet, la définition des spécifications s'est déroulée lors de la co-rédaction du cahier des charges avec les ingénieurs, et notamment au cours des longues discussions à ce sujet dans le cadre de réunions prévues à cet effet ou d'échanges informels.

Troisièmement, notamment pour spécifier les fonctions, nous avons dû prendre en compte un des enjeux fondamentaux d'EDF R&D. L'entreprise est engagée à fournir à son principal client – la production nucléaire – des technologies développées en son sein. Par conséquent, nous avons dû comprendre, au travers de la lecture de rapports et au cours de nombreuses discussions avec les ingénieurs, les possibilités de la technologie proposée. Sans ces informations, nous étions dans l'incapacité de formuler des fonctions reposant sur ces technologies. Ceci traduit notre volonté de nous intégrer au projet et notre volonté à participer à la construction des fonctions. En effet, si nous proposons des fonctions ne reposant pas sur la technologie d'EDF R&D, aucune d'entre elles n'aurait été acceptée. Cependant, en tant qu'ergonome, nous cherchions également à proposer des fonctions aidant l'activité des opérateurs. Les deux objectifs n'étant pas incompatibles, il a fallu les concilier. Ce travail fut d'ailleurs une des parties cruciales de notre activité. Cependant, nous avons parfois dû faire des compromis, notamment en spécifiant des fonctions ne faisant pas appel à ladite technologie. Par exemple, la fonctionnalité « minuteur » spécifiée dans le cahier des charges est similaire aux minuteurs utilisés en cuisine, elle n'est pas basée sur une technologie d'EDF R&D.

Enfin, nous avons également été moteur de l'évolution des exigences et des spécifications que nous avons initialement proposées. Nous nous sommes chargé tout au long du projet de prendre en compte (ou au contraire, de refuser, en motivant nos décisions) les

modifications demandées par les autres acteurs de la conception (équipe de conception, opérateurs, etc.)²⁰. Ce travail était nécessaire pour assurer la cohérence des exigences de conception tout en intégrant leurs contributions. Par ailleurs, de par notre connaissance de la littérature en conception, nous avons nous-même organisé les réunions avec le GT opérateurs afin qu'ils puissent exprimer de nouvelles exigences. Ainsi, en organisant la confrontation des points de vue entre les utilisateurs et les concepteurs²¹, nous avons également rempli le rôle d'assistant à la MOA (Daniellou, 2004; Garrigou et al., 2001).

Par ailleurs, nous nous sommes éloigné des processus d'analyse des besoins de Maguire & Bevan (2002) et de Chapanis (1996). En effet, le recueil d'informations, l'identification des exigences et la définition des spécifications ont été réalisés en parallèle. Il n'est cependant pas étonnant que le processus de spécifications commence avant même que le recueil de données ne soit terminé. Outre l'espace entre les accès au terrain, et la nécessité de ne pas retarder le projet, une autre explication est possible. Si l'on considère la conception comme une activité de résolution de problème, alors les informations recueillies et les exigences constituent le problème, et les spécifications sont la solution envisagée. Les recherches en psychologie et ergonomie cognitive montrent qu'en conception, la construction du problème se fait en parallèle de la recherche de solutions (par exemple, Simon, 1999). La recherche des solutions alimente la construction du problème et inversement. Ainsi, en définissant les spécifications, les concepteurs sont amenés à mieux cerner les besoins et à faire évoluer les exigences déjà formulées. De même, après avoir modifié les exigences, ils devront faire évoluer les spécifications en conséquence.

De plus, notre intervention a dépassé le cadre de la co-conception d'un système informatique. Par notre action, le plan national de formation des opérateurs a été modifié. Comme évoqué par Daniellou (2004) et Garrigou et al. (2001), nous avons enrichi les objectifs du projet. Nous sommes sorti une nouvelle fois de notre rôle de co-concepteur et avons tenu une position d'assistance à la MOA.

Pour résumer, la posture de co-concepteur a nécessité une volonté forte et des compromis de notre part. Nous avons également dû identifier les exigences et définir les spécifications en parallèle. Par contre, tenir uniquement cette posture ne semble pas suffisant. Pour agir globalement sur les problèmes identifiés, nous avons également élargi les objectifs initiaux du projet et mis en place les conditions de la confrontation des points de vue entre concepteurs (nous compris) et futurs utilisateurs.

5.3.2 La nécessaire construction sociale de l'intervention

Comme le soulignent de nombreux auteurs en ergonomie (Daniellou, 2004; Lamonde, 2000; Wulff et al., 1999b), la construction sociale de l'intervention ergonomique est incontournable. Sans cette construction, l'intervention ne peut être réussie. Après une discussion succincte sur son importance en ergonomie par rapport à l'ingénierie, nous détaillons les éléments de la construction sociale de notre intervention et son effet au cours de deux phases importantes du projet : le recueil de données, et la formulation des exigences et des spécifications.

20. L'étude de ce processus fait l'objet de la seconde étude empirique de la thèse.

21. L'ergonome inclus.

5.3.2.1 Importance de la dimension sociale de l'intervention ergonomique

La dimension sociale de l'intervention semble plus importante en ergonomie qu'en ingénierie. Comme nous l'avons vu, les méthodes d'identification et d'analyse des besoins en ingénierie de la conception ne font pas appel explicitement à la connaissance du terrain pour proposer les fonctions, caractéristiques et propriétés d'un système. A contrario, l'ergonome s'appuie largement sur des données de terrain²² pour formuler l'ensemble de ses préconisations. Il s'agit d'un élément propre aux méthodes ergonomiques d'analyse des besoins. Ainsi, il est nécessaire, pour lui, d'accéder au terrain, mais aussi de se faire accepter par les opérateurs dont il analyse le travail et la situation. Comme nous le verrons dans la suite, les contacts noués antérieurement au projet et ceux tissés au cours de celui-ci sont indispensables pour faciliter l'accès au terrain. Par contre, pour se faire accepter par les opérateurs, l'ergonome doit disposer de certaines qualités relationnelles. Celles-ci ne seront pas discutées ici.

5.3.2.2 La construction sociale dans le recueil des données

Le recueil et la validation de données ont grandement été facilités par deux types de contacts noués par l'ergonome encadrant notre travail dans le projet²³ et nous-même : les contacts antérieurs et les contacts tissés au cours du projet. Bien que n'intervenant pas directement dans le projet, l'autre ergonome nous a fait profiter de ses contacts professionnels acquis dans des projets antérieurs. Ainsi, grâce à lui, nous avons très rapidement pu effectuer deux immersions en salle de commande. Celles-ci ont été déterminantes pour comprendre le fonctionnement des installations nucléaires dans leur ensemble et du métier d'opérateur en particulier. Normalement, nous aurions dû demander au chef de projet de contacter le commanditaire afin qu'il redirige notre demande à la direction de la production nucléaire et fasse une demande globale aux sites de productions. Un site volontaire pour nous accueillir aurait ensuite dû nous contacter pour arranger les détails de l'immersion. Cette procédure peut durer plusieurs mois. La voie suivie n'a nécessité que quelques semaines et nous a donc fait gagner un temps précieux dans un projet de conception. Ce même ergonome nous a également mis en relation avec le *GT conduite*. Ce contact fut également crucial pour le projet puisque les opérateurs ont pu nous faire des retours sur les besoins identifiés, ainsi que sur les solutions que nous proposons à travers la présentation des maquettes et les questionnaires. Ce contact était aussi déterminant, car aucun des autres membres de l'équipe ne connaissait l'existence même du *GT conduite*. Nous aurions alors dû monter nous-même ce type de groupe d'utilisateurs, une activité consommatrice de temps.

Par ailleurs, les immersions et les observations sur site nous ont également donné la possibilité de nous faire des contacts supplémentaires. Les contacts tissés lors des immersions ont donné lieu à deux observations en situation réelle et aux premières séries d'entretiens. Les rencontres lors des observations sur site nous ont également permis de faire des observations en situation simulée, mais aussi d'autres observations en situation réelle.

22. Dans la suite de la thèse, nous verrons cependant que cette importance est variable s'il s'agit de formuler des exigences ou des spécifications.

23. Pour rappel, le second ergonome du projet supervisait notre travail mais ne participait pas à l'ensemble des réunions ni à la rédaction des livrables et du cahier des charges.

Ainsi, trois observations sur cinq au total, ainsi que l'observation en situation simulée, les entretiens, la validation du diagnostic et les questionnaires ont été rendus possibles ou facilités par les contacts des ergonomes du projet. Ceci montre bien l'importance qu'un des ergonomes de l'équipe possède des contacts antérieurs au projet et l'importance d'en nouer au cours du projet. Ceux-ci nous ont fait gagné beaucoup de temps pour trouver des sites acceptant des observations en salle de commande, sans compter le temps passer à monter un groupe d'utilisateurs similaire au *GT conduite* pour faire émerger de nouvelles exigences et valider les autres.

5.3.2.3 La construction sociale dans la formulation des exigences et des spécifications

La formulation des exigences et des spécifications du cahier des charges a également été facilitée par les contacts entre les membres de l'équipe projet. Ces liens se sont noués lors des discussions dans les espaces formels du projet (par exemple, les réunions de conception), et dans des espaces plus informels, notamment lorsqu'un des ingénieurs du projet nous accompagnait sur le terrain. Les discussions dans les espaces formels du projet nous ont été indispensables pour :

- comprendre les possibilités de la technologie développée par EDF R&D, technologie sur laquelle repose une partie des fonctions du système en conception ;
- présenter et argumenter l'utilité des fonctions que nous proposons, notamment les fonctions ne faisant pas appel à la technologie d'EDF R&D.

Ce dernier point a fortement bénéficié des discussions informelles et des liens tissés lors des observations sur site en compagnie d'un des ingénieurs du projet. Sur le principe, celui-ci nous accompagnait pour comprendre les aspects techniques de la montée en puissance. Cependant, ces observations ont été l'occasion de nombreuses discussions en dehors du temps d'observation à proprement parler. En effet, les sites nucléaires de production d'électricité sont situés dans des zones éloignées géographiquement des centres-villes. Ainsi, au cours de nombreuses heures de trajet, nous discutons du projet, des avancées, des possibilités, etc. De plus, la présence sur site durait, en général, une semaine. Par conséquent, nous prenions nos pauses, mais aussi nos repas ensemble, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur du site. Ces moments étaient propices pour tisser des liens aussi bien professionnels que personnels. En plus de favoriser la cohésion de l'équipe de conception, ces éléments ont aussi été bénéfiques à notre intervention. L'ingénieur en question comprenait davantage notre point de vue, traduisant nos propos en des termes plus compréhensibles pour les autres ingénieurs. Ainsi, il nous a largement soutenu et aidé à argumenter les fonctions que nous pensions utiles à l'activité des opérateurs. De plus, notamment grâce à lui, nous avons pu faire développer les fonctions ne faisant pas appel à la technologie R&D. Ce dernier point est fondamental. Au début du projet, seules les fonctions se basant sur la technologie R&D devaient être développées. Or, la technologie ne permettait pas de proposer une aide globale aux opérateurs. De par sa connaissance propre de la situation de travail et de nos discussions avec lui, l'ingénieur nous ayant accompagné sur le terrain comprenait mieux l'utilité des fonctions que nous avions définies. Il nous a ainsi soutenu dans nos propositions.

5.3.2.4 Conclusion

Cette analyse met en évidence plusieurs types de lien tissés au cours du projet. Ainsi, nous distinguons les liens entre les membres de l'équipe projet et les liens avec les autres acteurs du projet de conception (par exemple, les futurs utilisateurs). Ce dernier type de contact peut être subdivisé en deux. D'une part, les liens antérieurs au projet de conception, et, d'autre part, les liens tissés au cours du projet.

Il semble que selon les phases de l'analyse des besoins, ces différents types de contact ne soient pas utilisés de la même manière (tableau 5.1). Ainsi, les contacts avec les autres acteurs du projet ont été largement privilégiés par rapport aux contacts entre les membres du projet au cours du recueil des données. A contrario, lors de la formulation des exigences et des spécifications, les contacts entre les membres du projet ont été plus importants que les autres.

Phase de l'analyse des besoins	Type de contact privilégié
Recueil des données	Contacts entre les différents acteurs du projet
Formulation des exigences et des spécifications	Contacts entre les membres de l'équipe de conception

TABLEAU 5.1 – Type de contact privilégié selon les phases de l'analyse des besoins.

Il faut cependant nuancer ces propos. Les liens entre les membres du projet ont, comme nous l'avons vu, été largement influencés par la présence d'un des ingénieurs à nos côtés dans la phase de recueil de données sur le terrain. C'est parce qu'ils ont été tissés dans cette phase qu'ils ont pu être utiles à l'intervention ergonomique dans la formulation des exigences et des spécifications. De plus, la formulation des exigences et des spécifications a beaucoup tiré parti des relations nouées avec le *GT conduite* avant et pendant le projet. En effet, le *GT conduite* nous a permis de faire participer davantage les futurs utilisateurs à la formulation des exigences et des spécifications. Ainsi, les liens antérieurs avec les futurs utilisateurs ont largement facilité nos liens avec eux au cours du projet.

Enfin, les contacts entre les membres du projet ont également eu un impact en dehors du temps de l'intervention. En effet, grâce à eux, l'équipe de conception a remonté un autre projet faisant suite au projet APTS. Ainsi, en écho à ce qu'affirme Lamonde (2000), les liens tissés au cours d'une intervention sont importants dans l'intervention en elle-même, mais également au-delà de celle-ci, dans les interventions futures de l'ergonome.

Dans la suite de la thèse, deux autres aspects de notre activité seront mis en lumière. D'une part, il s'agit de caractériser notre rôle à travers l'analyse de notre contribution principale au projet : le cahier des charges (première et deuxième études). D'autre part, il s'agit d'étudier notre rôle dans l'évolution du cahier des charges à travers l'analyse des modifications apportées à ce document (troisième étude).

Chapitre 6

Problématique

Les enjeux de la thèse sont d'aider les chefs de projet à faire appel à des ergonomes et de développer les connaissances sur l'intervention ergonomique de co-conception en analyse des besoins. Pour répondre à ces enjeux, il apparaît nécessaire de clarifier et de construire des connaissances sur la contribution de l'ergonomie à l'analyse des besoins.

En posture de co-concepteur, l'ergonome participe à la définition des exigences et des spécifications. Cependant, à notre connaissance, peu d'études empiriques se sont attachées à déterminer le contenu de ces productions. Quelles dimensions du système l'ergonome participe-t-il à définir ? Comment ces éléments sont-ils justifiés ? Par ailleurs, la description du système évolue tout au long de l'analyse des besoins. Quel rôle l'ergonome possède-t-il dans cette évolution ? Quels critères utilise-t-il pour faire évoluer le système ? Ces aspects peuvent être analysés à travers l'étude du contenu du cahier des charges et la comparaison entre ses différentes versions. Chaque type d'étude apportant des éléments différents.

6.1 Quelle contribution de l'ergonome à la formulation des exigences ?

Dans APTS, la formulation des exigences est de la responsabilité de l'ergonome. Il est chargé de les recueillir, de les identifier, de les rédiger et de les faire évoluer le cas échéant. Comme nous l'avons vu dans la littérature, les exigences peuvent être directement exprimées par les parties prenantes ou identifiées par les concepteurs (ergonomes et ingénieurs). La littérature rapporte que les exigences formulées par l'ergonome proviennent :

- des contraintes (organisationnelles, techniques ou contextuelles) de la situation future,
- des limites du système actuel,
- des caractéristiques physiques et cognitives des futurs utilisateurs,
- de ses connaissances sur des situations analogues, de ses connaissances scientifiques ou de son expertise propre.

Cependant, à notre connaissance, aucune information sur l'origine, les types (organisationnel, fonctionnel, etc.) et les justifications des exigences formulées dans un projet

réel de conception n'a été rapportée. Il est toutefois possible de tracer ces éléments par l'analyse du cahier des charges auquel l'ergonome a contribué tout au long du projet. Ce document présente l'ensemble des exigences rédigées par ses soins ainsi que leurs justifications associées.

Déterminer qui identifie les exigences, leur type et la manière dont elles sont justifiées permet de clarifier une partie de la contribution de l'ergonome au projet. Il devient possible de préciser :

- les sources d'informations essentielles à son intervention,
- d'où proviennent les exigences fonctionnelles, organisationnelles, opérationnelles et physiques formulées,
- la répartition des rôles dans la formulation des exigences, c'est-à-dire, la manière dont l'ergonome, les ingénieurs et les utilisateurs se complètent dans la formulation des exigences. En effet, même si l'ergonome rédige l'ensemble des exigences contenues dans le cahier des charges, certaines peuvent être directement exprimées par les parties prenantes.

Ces éléments permettront de déterminer le type de participation de l'ergonome au côté des ingénieurs et des utilisateurs dans l'élaboration des exigences. Une telle étude contribuera à clarifier une partie du rôle de l'ergonome, et à caractériser les exigences qu'il peut formuler lors d'une analyse des besoins.

6.2 Quelle contribution de l'ergonome à la formulation des spécifications ?

Les spécifications sont le résultat final de l'analyse des besoins. Elles décrivent un système devant répondre aux exigences également formulées par les concepteurs. Le processus de spécification consiste à détailler les exigences en les quantifiant avec un critère numérique. Par exemple « le système doit commencer à afficher les résultats du calcul X en moins de 2 secondes ». Cependant, la quantification ne s'applique qu'aux spécifications opérationnelles, ou physiques, c'est-à-dire aux éléments du système pouvant être quantifiés. Il est donc nécessaire de qualifier les exigences de manière précise. Par exemple, « lorsque l'utilisateur clique sur le bouton 'X', le système affiche le résultat du calcul Y ». Plus précisément, en référence à SADT, il s'agit de préciser les buts, entrées, sorties, contraintes et ressources de toutes les fonctions du système ainsi que la manière de les utiliser. Ainsi, les spécifications fournissent une description détaillée du système, de son fonctionnement et de son utilisation.

D'après la littérature scientifique, si les ingénieurs participent à l'ensemble des spécifications et en sont les principaux auteurs, d'autres acteurs peuvent s'impliquer dans leur formulation. La contribution des utilisateurs est possible via leur participation, sous certaines conditions, à des réunions avec les concepteurs et à l'évaluation du système. En position de co-concepteur, les ergonomes peuvent prendre part à la définition des « spécifications utilisateurs », c'est-à-dire, de « ce que le système devra faire du point de vue de l'utilisateur ». Cependant, à notre connaissance, la question de la répartition des spécifications entre l'ensemble de ces acteurs n'est pas développée. De plus, la notion de « spécifications utilisateurs » est vague. Peu d'informations sur les productions de

l'ergonome et l'origine de celles-ci sont disponibles. Ainsi, le rôle de l'ergonome dans le processus de spécifications semble mal établi. Dans l'optique de développer des connaissances sur l'intervention ergonomique en analyse des besoins, étudier ces aspects semble indispensable.

Plus précisément, il est nécessaire de détailler :

- la manière dont les différents acteurs contribuent à la définition des spécifications, c'est-à-dire qui formule quel type de spécification ;
- d'où proviennent les spécifications de l'ergonome, autrement dit, comment il les justifie ;
- l'évolution du rôle des acteurs entre la définition des exigences et celle des spécifications, notamment en comparant leurs sources, types et justifications respectives.

L'ensemble des spécifications est contenu dans le cahier des charges, il est donc nécessaire d'étudier ce document. Une analyse de ce type apportera des connaissances sur le processus de spécifications, le rôle de l'ergonome et la manière dont il se partage le travail avec les autres concepteurs, ainsi que le type de spécifications qu'un ergonome peut produire.

6.3 Quelle contribution de l'ergonome à l'évolution itérative du cahier des charges ?

Du point de vue de la psychologie ergonomique, l'analyse des besoins est une activité de conception. Le problème (les besoins ou les exigences) se définit en même temps que la solution (les spécifications). La compréhension des besoins et des exigences étant en évolution tout au long de l'analyse des besoins, les spécifications continuent d'évoluer jusqu'à la fin du processus. D'après la littérature, de telles évolutions sont consécutives à l'évaluation négative de la solution par un des acteurs du projet, qu'il soit concepteur ou utilisateur, lors de séances de travail individuelles ou collectives (points d'évolution).

Cependant, à notre connaissance, aucune étude ne s'est intéressée :

- à la manière dont les différents acteurs influent réellement sur cette évolution, et, plus particulièrement, le rôle de l'ergonome dans celle-ci ;
- aux points d'évolution privilégiés pour faire évoluer le cahier des charges ;
- aux critères employés pour évaluer négativement la version actuelle et proposer des changements

Pour apporter des réponses à ces questions, il est nécessaire de déterminer : qui demande des évolutions, sur quels éléments du système elles portent, quand et pourquoi elles sont acceptées ou refusées. Il est possible d'étudier l'ensemble de ces éléments et des liens qu'ils peuvent entretenir à travers l'analyse :

- des différentes versions du cahier des charges ;
- des évolutions demandées après la première version du cahier des charges.

Ces dernières sont exprimées lors des points d'évolution. Ainsi, une analyse des verbalisations lors des séances de travail des acteurs de la conception apparaît indispensable.

Une telle étude contribuerait à mieux formaliser le rôle, en le comparant aux autres acteurs, de l'ergonome lors de l'analyse des besoins. Plus précisément, ce type d'analyse

permettrait de mieux comprendre comment et quand l'ergonome fait évoluer la solution, et quelles sont ses spécificités par rapport aux autres acteurs quant aux critères qu'il utilise.

6.4 Objectifs, méthodes et résultats attendus : tableau de synthèse

Le tableau 6.1 résume de manière synthétique les objectifs, méthodes et résultats attendus des trois études empiriques menées dans le cadre de la thèse.

	Étude 1	Étude 2	Étude 3
Objectif	Analyser les contributions d'un ergonome à la formulation des exigences	Analyser les contributions d'un ergonome à la formulation des spécifications	Analyser les contributions d'un ergonome à l'évolution itérative du système en conception
Méthode	Analyse de traces de l'activité : le cahier des charges	Analyse de traces de l'activité : le cahier des charges	1. Analyse des évolutions apportées aux différentes versions du cahier des charges 2. Analyse des verbalisations lors des points d'évolution
Résultats attendus	1. Sources d'information nécessaires à l'ergonome pour formuler des exigences 2. Origines et typologie des productions de l'ergonome 3. Plus-value de l'intervention ergonomique	1. Apports spécifiques de l'ergonome aux spécifications 2. Articulation de son travail avec celui des autres concepteurs. 3. Origine et typologie des spécifications formulées par l'ergonome	1. Rôle de l'ergonome dans l'évolution du cahier des charges 2. Points d'évolution privilégiés pour faire évoluer le cahier des charges 3. Critères d'évaluation employés par les acteurs, et notamment ceux évoqués par l'ergonome

TABLEAU 6.1 – Objectifs, méthodes et résultats attendus des études empiriques.

Chapitre 7

Analyse des exigences contenues dans le cahier des charges

Les exigences sont une description des caractéristiques, propriétés et fonctions attendues du système en conception. Émanant des besoins identifiés par l'ergonome ou directement exprimés par les utilisateurs ou les ingénieurs, elles constituent une étape charnière de l'analyse des besoins. L'ensemble des exigences identifiées par l'ergonome ou exprimées par les utilisateurs et les ingénieurs est consigné dans le cahier des charges.

Après une présentation des objectifs de l'étude, nous détaillons la méthodologie employée pour y répondre. Puis, nous exposons les résultats obtenus. Enfin, nous les discutons vis-à-vis de la littérature scientifique sur le sujet.

7.1 Objectifs

Il existe de nombreux exemples de la contribution des ergonomes à la formulation des exigences. Cependant, peu d'études se sont intéressées spécifiquement aux exigences produites. L'objectif de cette étude est d'analyser la participation de l'ergonome à la formulation des exigences contenues dans le cahier des charges (figure 7.1). Plus précisément, il s'agit de caractériser le rôle de l'ergonome par rapport aux autres acteurs.



Figure 7.1 – Positionnement de l'étude dans le processus d'analyse des besoins et variables étudiées.

Le rôle des différents acteurs est déterminé par la dimension et l'origine des exigences formulées par chacun. Notre objectif étant de comprendre la contribution effective à la

description du système, seules les exigences retenues à la fin du projet sont analysées¹. Ainsi, pour chaque exigence, il s'agit de décrire (figure 7.1) :

- sa SOURCE (ergonome, ingénieur, utilisateur) ;
- la JUSTIFICATION sur laquelle elle est basée ;
- la DIMENSION du système à laquelle elle fait référence (fonctionnelle, interaction, physique, organisationnelle, opérationnelle) ;
- sa PORTÉE sur le système (générale, s'appliquant à l'ensemble du système ou circonscrite, s'appliquant à une seule fonction du système).

Ce travail sera complété par une analyse des interactions entre ces variables. De cette manière, nous pourrions déterminer quel type d'exigences les différentes sources privilégient et comment ces derniers les justifient. Il est notamment attendu que les sources (1) ne s'attachent pas à formuler les mêmes types d'exigences, qu'il s'agisse de leur dimension ou de leur portée, et (2) justifient les exigences de manière différente.

7.2 Méthode

Le cahier des charges final contient toutes les exigences et leurs justifications respectives. L'ensemble de ces informations est traité par une analyse de contenu thématique (Bardin, 1998). Cette section détaille cette analyse.

7.2.1 Recueil de données

Le recueil et la formulation des exigences se sont déroulés de juillet 2008, jusqu'à la fin du projet, en mai 2011. Dans APTS l'ergonome était chargé d'identifier, par ses propres moyens, et de recueillir les exigences exprimées par les utilisateurs. Les ingénieurs ont également exprimé des exigences.

Au fur et à mesure de leur identification ou collecte, les exigences étaient consignées par l'ergonome dans le cahier des charges. Ce dernier est utilisé par l'ensemble des membres du projet pour communiquer et échanger sur les exigences lors des réunions. Cependant, seules les exigences retenues figurent dans la version finale du cahier des charges².

Les exigences étant des propriétés, caractéristiques ou fonctionnalités attendues du système en conception, elles sont formulées en utilisant des verbes modaux. Ces derniers expriment la nécessité (devoir, falloir, pouvoir, etc.). Par exemple, « *l'outil doit calculer les paramètres pertinents de pilotage dont l'accès en salle de commande n'est pas direct* ». L'ensemble du cahier des charges a été analysé manuellement en vue de détecter tous les éléments répondant à cette définition.

Chaque justification d'exigence a également été relevée manuellement. Elles correspondent au besoin sous-jacent. Les justifications sont :

- des descriptions issues du terrain. Par exemple, « *le poste [...] ne dispose que d'un clavier virtuel peu pratique pour entrer des données* » justifie l'exigence « *l'outil*

1. L'évolution des exigences, et notamment les raisons de leur suppression ou rejet, est analysée dans la dernière étude empirique.

2. Cf. chapitre 4 pour une présentation détaillée de la manière dont il a été construit et de son contenu

doit pouvoir fonctionner avec un minimum d'entrées manuellement de la part de l'opérateur ».

- des connaissances acquises par les différents acteurs au cours de leur formation disciplinaire ou de leurs expériences passées. Par exemple, « *lorsque les opérateurs réalisent plusieurs tâches en parallèle, ils doivent avoir un accès facile à l'ensemble des informations nécessaires à ces tâches* » justifie l'exigence « *il faut regrouper [les fonctions] dans une même image de conduite pour que les activités des opérateurs aidées par ces fonctions puissent être réalisées en parallèle* ». Contrairement aux justifications basées sur des descriptions d'éléments du terrain, les justifications issues des connaissances disciplinaires sont générales. Elles peuvent s'appliquer à des situations présentant des caractéristiques similaires. Par exemple, la justification précédemment citée peut être employée dès lors que des utilisateurs exécutent des tâches en parallèle.

7.2.2 Traitement des données

En tout, 59 exigences retenues par l'équipe de conception ont été identifiées dans le cahier des charges. Chacune d'elle est analysée selon : sa SOURCE, sa JUSTIFICATION, la DIMENSION du système à laquelle elle fait référence et sa PORTÉE.

La SOURCE correspond à la catégorie de l'acteur ayant formulé l'exigence : ingénieur, utilisateur, ergonomiste (tableau 7.1).

Source	Description des sources
Utilisateurs	L'exigence est exprimée par les utilisateurs au cours de l'analyse du travail ou des réunions auxquelles ils participent. Elle est recueillie puis incluse dans le cahier des charges par l'ergonome.
Ergonome	L'exigence est directement formulée et incluse dans le cahier des charges par l'ergonome.
Ingénieur	L'exigence est exprimée par un des ingénieurs de l'équipe de conception et incluse dans le cahier des charges par l'ergonome.

TABLEAU 7.1 – Description des différentes SOURCES des exigences.

La JUSTIFICATION renvoie à la raison évoquée par l'acteur pour justifier l'exigence qu'il formule. Le tableau 7.2 décrit les différents types de justification.

Justification	Description de la justification	Exemple de justification
Contraintes de la situation	Les contraintes de la situation sont des éléments constituant de la situation ou caractérisant les conditions de travail. Elles peuvent être techniques (par exemple, physique du process, caractéristiques du matériel) ou organisationnelles (par exemple, formation, procédure, répartition des tâches entre opérateurs).	« <i>L'état actuel de la tranche, pour une raison ou pour une autre (aléa, etc.), peut évoluer de manière imprévue.</i> »
Limites du système humain-machine actuel	Les limites du système humain-machine correspondent aux éléments provoquant des difficultés aux opérateurs, freinant l'efficacité de leur activité ou pouvant poser des problèmes de sécurité ou de confort.	« <i>Les opérateurs doivent calculer manuellement très fréquemment certains paramètres utiles au pilotage</i> »
Caractéristiques physiques et cognitives des utilisateurs	Ce type de justification renvoie aussi bien aux caractéristiques physiques (anthropométriques, capacités perceptives, etc.) que cognitives (capacités mnésiques, expérience, compétences, préférences, etc.). Ces caractéristiques concernent uniquement les futurs utilisateurs et non l'ensemble de la population.	« <i>Les opérateurs possèdent peu d'expérience sur le pilotage du transitoire</i> »
Dires d'expert	Connaissances issues de la formation disciplinaire ou d'expériences antérieures de l'acteur concerné. Pour l'ergonome, il s'agit de connaissances générales sur l'humain au travail ou des connaissances issues de son expérience personnelle. Pour les utilisateurs, il s'agit, par exemple, de connaissances sur leur métier et sur le process.	« <i>Tout nouvel outil nécessite une phase d'accompagnement et de formation afin (1) que les opérateurs puissent se l'approprier, (2) d'éviter les erreurs dans l'interprétation des données affichées, des erreurs de manipulation.</i> »

TABLEAU 7.2 – Description de la JUSTIFICATION des exigences. Les exemples proviennent du cahier des charges.

La DIMENSION du système à laquelle fait référence une exigence renvoie aux différentes dimensions du système : fonctionnelle, interface, organisationnelle, opérationnelle, physique et interaction. Le tableau 7.3 propose une description de chacune de ces dimensions.

Dimension	Description de la dimension du système	Exemple d'exigence
Fonctionnelle	Exigence fonctionnelle. Renvoie à l'utilité du système, à quoi il sert (ou ne sert pas).	« <i>L'outil doit faciliter l'évaluation de la situation par rapport aux objectifs des opérateurs.</i> »
Interaction	Exigence non-fonctionnelle. Renvoie à la manière dont les utilisateurs vont interagir avec le futur outil. Les exigences d'interaction sont directement en lien avec l'utilisabilité du dispositif.	« <i>L'outil doit pouvoir fonctionner avec un minimum d'entrées de la part de l'opérateur.</i> »
Opérationnelle	Exigence non-fonctionnelle. Correspond à des caractéristiques de performance, d'efficacité et aux conditions d'utilisation du système.	« <i>L'outil doit pouvoir s'adapter aux différentes stratégies de pilotage des opérateurs</i> »
Organisationnelle	Exigence non-fonctionnelle. Concerne des éléments de l'organisation (répartition des tâches entre opérateurs, formation, etc.) dans laquelle devra s'insérer le système et/ou est nécessaire à son fonctionnement.	« <i>Cette fonction ne doit pas être utilisée par l'opérateur qui pilote</i> »
Physique	Exigence non-fonctionnelle. Correspond à la description des éléments constitutifs du système, de leur architecture, et de leurs caractéristiques physiques (taille, forme, couleur, etc.). Dans le cas de systèmes informatiques, les exigences physiques renvoient aux constituants des logiciels, à leur structuration et à la localisation physique du système.	« <i>Le modèle [...] doit comprendre les circuits et les éléments principaux du circuit primaire, [...]</i> »

TABEAU 7.3 – Description des différentes DIMENSIONS de système auxquelles les exigences font référence. Les exemples proviennent du cahier des charges.

La PORTÉE de l'exigence correspond à l'étendue de la contrainte qu'elle exerce sur le système. Soit l'exigence porte sur le système entier, soit sur des parties circonscrites de celui-ci (tableau 7.4).

Portée	Description de la portée des exigences	Exemple d'exigence
Générale	L'exigence porte sur l'ensemble ou plusieurs parties du dispositif en conception. Les exigences générales définissent l'orientation générale du système. Elles s'appliquent au système dans son ensemble.	« <i>Les fonctions relatives au pilotage doivent être accessibles aux opérateurs.</i> »
Circonscrite	L'exigence porte sur une partie du système. Dans le cas de systèmes informatiques, une exigence est circonscrite lorsqu'elle concerne une seule fonction du système. À ce niveau, une exigence fonctionnelle renvoie au but de la fonction à laquelle elle est rattachée; les exigences organisationnelles concernent uniquement les aspects organisationnels d'une fonction en particulier et n'impactent pas les autres fonctions.	« <i>Cette fonction ne peut être accessible depuis les pupitres de pilotage</i> »

TABEAU 7.4 – PORTÉE des exigences formulées dans le cahier des charges. Les exemples proviennent du cahier des charges.

Le codage des exigences a été effectué sur une version non modifiée du cahier des charges.

Lorsqu'une exigence est exprimée plusieurs fois dans le document, une seule des occurrences est décomptée.

7.3 Résultats

Cette section présente l'ensemble des résultats obtenus. Nous commençons par décrire les exigences selon leur SOURCE, JUSTIFICATION, PORTÉE, et DIMENSION. Puis, nous analysons les liens entre celles-ci. À ce propos, une analyse en correspondance multiple (ACM, Le Roux & Rouanet, 2004) n'est pas recommandée. Les effectifs des modalités des différentes variables présentent des écarts importants, rendant une telle analyse caduque (Le Roux & Rouanet, 2004). Ainsi, pour étudier les liens entre variables, nous avons analysé leurs croisements deux à deux. Tous les croisements possibles ont été calculés. Cependant, seuls les croisements intéressants du point de vue de nos objectifs ont été retenus et sont présentés dans cette section.

7.3.1 Description univariée des exigences

Dans cette section, nous détaillons les résultats descriptifs de chaque variable étudiée. Ainsi, nous présentons les SOURCES, JUSTIFICATIONS, PORTÉES, et DIMENSIONS des exigences contenues dans le cahier des charges.

7.3.1.1 L'ergonome est le principal fournisseur d'exigences

De manière générale, les acteurs n'ont pas formulé le même nombre d'exigences (figure 7.2). Parmi les 59 exigences contenues dans le cahier des charges, l'ergonome en a identifié 44, tandis que les utilisateurs en ont exprimé 9 et les ingénieurs 6.

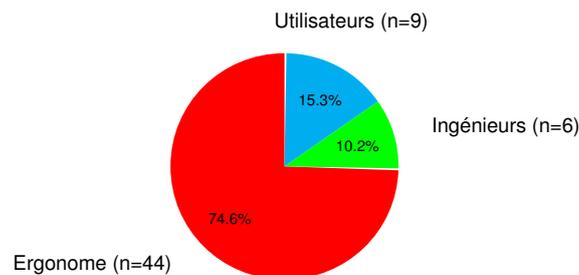


Figure 7.2 – SOURCES des exigences formulées dans le cahier des charges.

Ce résultat reflète la forte implication de l'ergonome dans la formulation des exigences. Il montre également la plus faible contribution des ingénieurs et des utilisateurs à cette étape de l'analyse des besoins. La faible participation des utilisateurs peut être expliquée par le nombre réduit de réunions auxquelles ils ont pu participer. En raison de contraintes organisationnelles fortes, seules trois réunions ont pu être tenues avec eux. Par ailleurs, l'écart quantitatif entre les acteurs n'implique pas un écart qualitatif dans leurs contributions respectives. Ce n'est pas parce que les ingénieurs et les utilisateurs ont moins identifié d'exigences que celles-ci ne sont pas déterminantes pour le système.

Par exemple, l'exigence relative à la technologie sous-jacente formulée par les ingénieurs a une influence considérable sur le système.

7.3.1.2 Les exigences sont surtout issues des contraintes de la situation et de dires d'expert

Les exigences formulées dans le cahier des charges proviennent surtout des contraintes de la situation d'utilisation future (n=21, soit 35,6%, voir figure 7.3) et des dires d'experts des acteurs (n=20 soit 33,9%). Dans une moindre mesure, les exigences sont issues des limites du système humain-machine actuel (n=13 soit 22%) et des caractéristiques physiques et cognitives des utilisateurs (n=5, soit 8,5%).

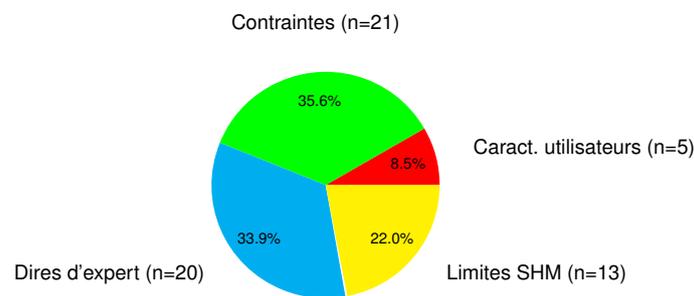


Figure 7.3 – JUSTIFICATION des exigences formulées dans le cahier des charges.

7.3.1.3 Peu d'exigences orientent la solution de manière globale

La majorité des exigences formulées dans le cahier des charges ont une portée circonscrite (n=39, figure 7.4). Seul un tiers des exigences porte sur l'ensemble du système (n=20).

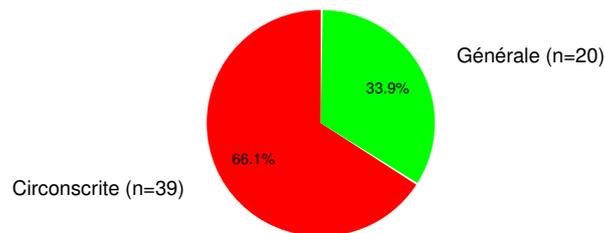


Figure 7.4 – PORTÉE des exigences contenues dans le cahier des charges.

Ainsi, il y a relativement moins d'exigences orientant globalement la définition du système. Cependant, compte tenu de leur importance déterminante, leur nombre est peu significatif. Les exigences générales guident l'ensemble de la conception. Elles doivent être respectées par la totalité des exigences circonscrites et des spécifications. Par exemple, l'exigence générale fonctionnelle « *l'outil doit aider les opérateurs à déterminer quelles actions ils doivent entreprendre pour piloter le réacteur [...] sans dépasser les limites de sûreté* » a été traduite en six fonctions³, par exemple, « *l'outil doit calculer les paramètres [...] non accessibles directement en salle des commandes* ». Un nombre important

3. Pour rappel, dans les systèmes informatiques, les différentes fonctions sont des exigences fonction-

de spécifications répond à chacune de ces fonctions. L'exigence générale à l'origine de ces fonctions a donc un impact sur l'ensemble de leurs spécifications respectives. Les exigences générales ont donc une influence considérable sur le système.

7.3.1.4 Une prédominance des exigences fonctionnelles

La plupart des exigences sont fonctionnelles (n=35, figure 7.5). Suivent, les exigences organisationnelles (n=8). Enfin, quelques exigences physiques (n=6), d'interaction (n=5) et opérationnelles (n=5) ont été formulées.

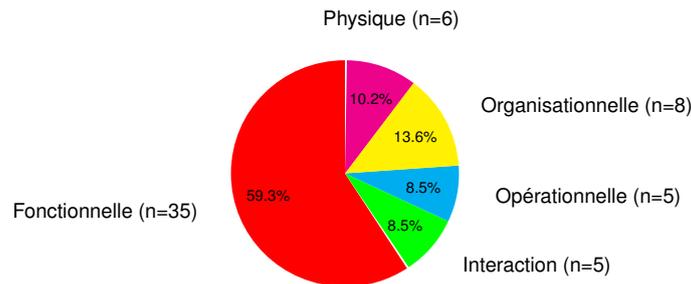


Figure 7.5 – DIMENSIONS du système auxquelles font référence les exigences consignées dans le cahier des charges.

Ces résultats semblent davantage être le reflet du type de système conçu que des spécificités du projet APTS. En informatique, le fonctionnel est au cœur du système. Il compose l'essentiel de celui-ci. Grâce à la plasticité de l'informatique, un nombre quasi illimité de fonctionnalités peuvent être réalisées tout en reposant sur la même technologie (exigence physique), et en répondant aux mêmes exigences opérationnelles, organisationnelles et d'interaction. Par exemple, dans notre cas, l'exigence d'interaction « *l'utilisation de l'outil doit être très intuitive* » s'applique à toutes les fonctions du système.

7.3.2 Analyse des liens entre variables

Dans cette section, les liens entre les variables utilisées pour décrire les exigences sont analysés. Pour déterminer l'existence d'un lien et la force de celui-ci entre les variables, nous avons calculé, pour chaque croisement, le V2 de Cramér (1999). Cet indice est comparable aux corrélations entre variables numériques, mais adapté aux variables catégorielles à plus de deux modalités (Corroyer & Wolff, 2003). Par convention, le lien entre deux variables est considéré comme faible si le V2 est inférieur à 0,04, fort s'il est supérieur à 0,16, et intermédiaire lorsqu'il est compris entre 0,04 et 0,16.

Enfin, pour analyser les liens entre les modalités de deux variables distinctes, nous utilisons les taux de liaison (txl, Rouanet et al., 1987). Il y a absence de liaison si le taux de liaison est égal à 0, attraction entre les modalités lorsqu'il est supérieur à 0 et répulsion s'il est inférieur à 0. Par convention, le lien entre deux modalités est considéré comme significatif si le taux de liaison est supérieur à $|0,2|$.

nelles circonscrites.

Cependant, ce type d'analyse n'est pas toujours recommandé. Deux conditions doivent être respectées. Premièrement, les effectifs des modalités d'une même variable ne doivent pas présenter des écarts trop importants (Rouanet et al., 1987). Deuxièmement, les effectifs du tiers des croisements entre les modalités ne doivent pas être nuls. Si l'une des deux conditions n'est pas vérifiée, ce type d'analyse ne sera pas réalisé.

7.3.2.1 L'ergonome a une position intermédiaire entre les ingénieurs et les utilisateurs

Tous les acteurs identifiés expriment des exigences générales et circonscrites (tableau 7.5a). Globalement, il existe un lien de force intermédiaire entre la SOURCE de l'exigence et sa PORTÉE sur le système ($V2=0,09$). Autrement dit, les acteurs ne semblent pas formuler des exigences de portée identique. Ils définissent des niveaux différents de description du système. Même si le lien global entre ces deux variables est intermédiaire, il existe des différences notables selon la SOURCE considérée.

	Circonscrite	Générale
Ergonome	31	13
Ingénieurs	5	1
Utilisateurs	3	6

(a) Effectifs observés

	Circonscrite	Générale
Ergonome	0,07	-0,13
Ingénieurs	0,26	-0,51
Utilisateurs	-0,5	0,97

(b) Taux de liaison. L'arrière-plan des taux de liaison est bleuté en cas de répulsion entre les modalités et rouge pâle en cas d'attraction. Les taux de liaison significatifs sont en gras. Ce code de présentation est identique dans l'ensemble du document.

TABLEAU 7.5 – PORTÉE des exigences selon leur SOURCE.

Les exigences identifiées par les ingénieurs majoritairement sur des parties circonscrites du système ($n=5$, tableau 7.5a). De plus, elles portent toutes sur des éléments techniques. Par exemple, « *le modèle du circuit primaire doit comprendre les circuits et les éléments principaux [...]* ». Dans le cadre du projet, les ingénieurs n'ont identifié qu'une exigence ayant un impact sur l'ensemble du système. Celle-ci concerne la technologie utilisée. Vis-à-vis des autres acteurs, ils identifient donc surtout des exigences circonscrites ($txl=+0,26$; tableau 7.5b).

Les utilisateurs expriment principalement des exigences dont la portée est générale ($n=6$), c'est-à-dire des exigences orientant la définition du système dans son ensemble. Par exemple, « *l'outil doit s'appuyer au maximum sur des technologies déjà utilisées sur le parc nucléaire* ». En comparaison avec les autres acteurs, cette tendance se confirme ($txl=+0,97$). Ainsi, les utilisateurs expriment moins d'exigences circonscrites que les autres acteurs ($txl=-0,5$).

L'ergonome a identifié moins d'exigences générales ($n=13$, tableau 7.5a), que circonscrites ($n=31$, tableau 7.5a). Par rapport aux autres acteurs, il propose davantage d'exigences

circonscrites ($txl=+0,07$) que générales ($txl=-0,13$). Cependant, la différence est peu marquée (txl non significatifs). Il est ainsi possible de qualifier sa position d'intermédiaire par rapport aux utilisateurs et aux ingénieurs.

7.3.2.2 L'ergonome définit surtout les exigences fonctionnelles et d'interaction

Aucune des SOURCES n'a formulé des exigences renvoyant à toutes les DIMENSIONS du futur système (tableau 7.6a). Ainsi, l'ergonome n'a formulé aucune exigence physique, les utilisateurs n'ont pas exprimé d'exigences d'interaction, et les ingénieurs ont uniquement avancé des exigences physiques et opérationnelles. De manière générale, les dimensions auxquelles font référence les exigences sont fortement liées à leur source ($V2=0,4$). Les acteurs du projet n'ont pas identifié ou exprimé les mêmes types d'exigences.

Par rapport aux autres (tableau 7.6b), les utilisateurs expriment davantage d'exigences opérationnelles ($txl=+1,62$) et organisationnelles ($txl=+0,64$). Les exigences opérationnelles qu'ils identifient sont surtout relatives aux conditions d'usage de l'outil en situation. Par exemple, « l'outil doit pouvoir s'adapter aux différentes stratégies de pilotage ». Les exigences organisationnelles concernent les besoins de formation relative au pilotage de la montée en puissance et la répartition des fonctions entre les utilisateurs.

Les ingénieurs identifient uniquement des exigences physiques ($n=5$) et opérationnelles ($n=1$). En comparaison des autres acteurs, ils expriment majoritairement ces deux types d'exigences ($txl=+7,19$ et $txl=+0,97$). Les exigences physiques concernent le contenu du logiciel permettant le fonctionnement du système. Par exemple, « *le modèle neutro-nique doit être 1D [une dimension]* ». L'unique exigence opérationnelle identifiée par les ingénieurs fait référence au domaine de validité du système, c'est-à-dire les conditions techniques dans lesquelles le système peut fonctionner.

	Fonctionnelle	Interaction	Opérationnelle	Organisationnelle	Physique
Ergonome	31	5	2	6	0
Ingénieurs	0	0	1	0	5
Utilisateurs	4	0	2	2	1

(a) Effectifs observés.

	Fonctionnelle	Interaction	Opérationnelle	Organisationnelle	Physique
Ergonome	0,19	0,34	-0,46	0,01	-1
Ingénieurs	-1	-1	0,97	-1	7,19
Utilisateurs	-0,25	-1	1,62	0,64	0,09

(b) Taux de liaison.

TABLEAU 7.6 – DIMENSIONS auxquelles font références les exigences selon leur SOURCE.

Enfin, excepté la dimension physique, l'ergonome a identifié des exigences renvoyant à toutes les dimensions du système (tableau 7.6a). Ses exigences organisationnelles, comme celles des utilisateurs, définissent la répartition des fonctions entre ces derniers. Par exemple, « *[cette fonction] doit être utilisée par l'opérateur en recul* ». Cependant, contrairement aux utilisateurs, les exigences relatives à la formation des utilisateurs concernent

leur formation à l'utilisation du nouveau système. Les exigences opérationnelles portent uniquement sur le domaine d'application de l'outil, c'est-à-dire les phases de conduite lors desquelles il pourra être utilisé. Comparé aux autres acteurs, l'ergonome a davantage identifié des exigences fonctionnelles (txl=+0,19) et d'interaction (txl=+0,34). Ainsi, au niveau des exigences, ce dernier a mis l'accent sur l'utilité et l'utilisabilité du dispositif. En termes de fonctionnalité, il a surtout proposé des aides à l'activité. Par exemple, « *l'outil doit aider les opérateurs à déterminer quelles actions ils doivent entreprendre pour piloter le réacteur* ». Concernant l'interaction, ses exigences définissent des principes généraux d'utilisabilité (par exemple, « *l'utilisation de l'outil doit être très intuitive* ») et des éléments relatifs à l'interaction générale avec le système (par exemple, « *l'outil doit pouvoir fonctionner avec un minimum d'entrées de la part de l'opérateur* »). L'absence de formulation d'exigences physiques peut s'expliquer par la nature du système en conception. En effet, le but d'APTS est de concevoir un logiciel. Les exigences physiques renvoient principalement aux composants du logiciel, ce qui relève davantage de la compétence des ingénieurs.

Pour résumer, chaque acteur apporte une spécificité propre. Les utilisateurs expriment surtout des exigences relatives à l'usage en situation. Les ingénieurs ont surtout travaillé sur ce qui constitue l'aide et la fait fonctionner. Quant à l'ergonome, il a principalement focalisé ses efforts sur l'interaction et les aspects fonctionnels du système. Cependant, ces résultats doivent être nuancés selon la portée des exigences.

7.3.2.3 Les utilisateurs et l'ergonome déterminent les grandes orientations fonctionnelles et celles relatives à l'usage

Les exigences générales ont surtout été définies par l'ergonome et les utilisateurs (figure 7.6a). Les ingénieurs interviennent peu à ce niveau de définition du système (figure 7.6a). Même si la majorité des exigences générales renvoient à l'interaction avec le système et à ses fonctionnalités, les exigences formulées font référence à toutes les dimensions du système (figure 7.6b).

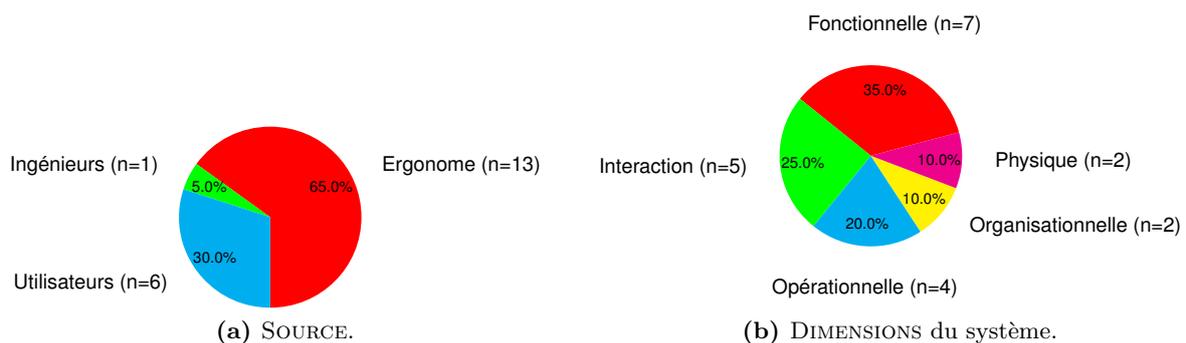


Figure 7.6 – DIMENSIONS du système auxquelles font référence les exigences générales et la SOURCE de celles-ci (en nombre).

En collaboration avec les utilisateurs, l'ergonome a largement participé à la définition des orientations générales du système sur le plan fonctionnel et opérationnel (n=4 et n=3, soit 57,1% et 42,9%, tableau 7.7). Cependant, concernant les exigences fonctionnelles,

il existe une différence fondamentale entre les deux acteurs. Alors que les exigences de l'ergonome sont formulées de manière affirmative (du type « l'outil doit [...] »), celles exprimées par les utilisateurs sont plutôt formulées négativement (du type « l'outil ne doit pas... »). Les exigences opérationnelles de l'ergonome concernent le domaine de validité du fonctionnement du système. Celles des utilisateurs renvoient plutôt aux conditions d'utilisation du système et aux possibles évolutions de celles-ci, ces dernières n'ayant pas été toutes identifiées par l'analyse du travail effectuée par l'ergonome. Par exemple, « *il faut prendre en compte la possibilité de perdre les données [alimentant le système]* ».

	Fonctionnelle	Interaction	Opérationnelle	Organisationnelle	Physique
Ergonome	4	5	2	2	0
Ingénieurs	0	0	0	0	1
Utilisateurs	3	0	2	0	1

(a) Effectifs.

	Fonctionnelle	Interaction	Opérationnelle	Organisationnelle	Physique
Ergonome	57,1%	100%	50%	100%	0
Ingénieurs	0	0	0	0	50%
Utilisateurs	42,9%	0	50%	0	50%
TOTAL	100%	100%	100%	100%	100%

(b) Pourcentages.

TABLEAU 7.7 – DIMENSIONS du système auxquelles les exigences générales renvoient en fonction leur SOURCE.

L'ergonome est, par ailleurs, le seul à définir les orientations générales du système au niveau de l'interaction et sur le plan organisationnel ($n=5$ et $n=2$, soit 100%, tableau 7.7). Sur le plan de l'interaction, ses exigences renvoient aussi bien à la présentation des informations qu'aux dispositifs physiques d'interaction. Par exemple, « *toutes les informations affichées par l'outil doivent être conformes aux contraintes techniques, contextuelles et organisationnelles* ». Relativement aux aspects organisationnels du système, l'ergonome a défini globalement les catégories d'utilisateurs (opérateurs vs. mainteneurs) selon le type de fonction et la formation des opérateurs à l'utilisation du dispositif. Par exemple, « *les opérateurs ne doivent pas paramétrer les éléments sur lesquels repose le fonctionnement de l'outil. Seuls les automaticiens ou les ingénieurs d'exploitation du combustible peuvent y avoir accès* ».

Les ingénieurs ont travaillé avec les utilisateurs pour définir les exigences générales relatives aux aspects physiques du système ($n=1$ et $n=1$). Tandis que les premiers ont défini globalement la technologie sur laquelle repose le fonctionnement du système, les derniers ont défini la localisation de celui-ci en salle de commande.

7.3.2.4 La plupart des exigences circonscrites sont identifiées par l'ergonome

L'ergonome a largement contribué à la définition des exigences relatives aux différentes parties de l'outil ($n=31$, figure 7.7a). Les utilisateurs et les ingénieurs ont moins participé à ce niveau de définition des exigences ($n=5$ et $n=3$). Celles-ci sont très majoritairement fonctionnelles ($n=28$, figure 7.7b). Peu d'exigences physiques ($n=4$), organisationnelles

(n=6) et opérationnelles (n=1) sont dénombrées. Aucune exigence d'interaction circonscrite n'a été formulée.

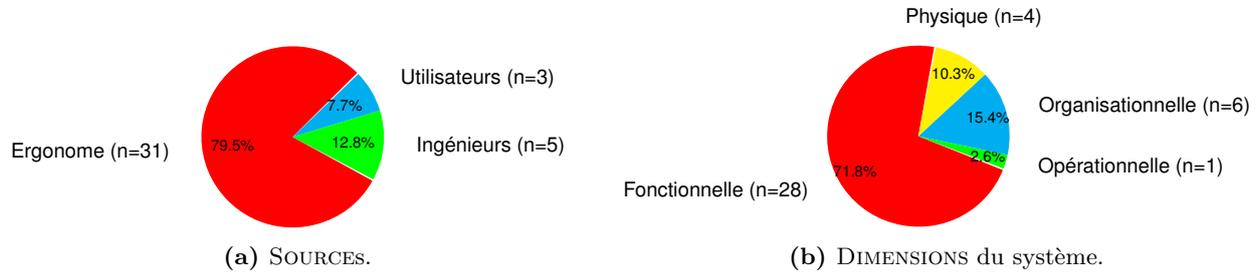


Figure 7.7 – DIMENSIONS du système auxquelles font référence les exigences circonscrites et la SOURCE de celles-ci.

À ce niveau de définition des exigences, les aspects fonctionnels du système sont surtout exprimés par l'ergonome (n=27, soit 96,4%, tableau 7.8). Les utilisateurs ont très peu contribué à la leur formulation (n=1, soit 3,6%). Ils ont davantage plutôt aidé à définir les aspects organisationnels des différentes parties du système (n=2, soit 33,3%). Ceux-ci concernent uniquement la répartition des fonctions entre les différents utilisateurs en salle de commande. L'ergonome a cependant défini la plupart de ces exigences (n=4, soit 66,7%).

Les ingénieurs ont décrit les aspects physiques et opérationnels des fonctions (n=4 et n=1). L'aspect physique concerne les constituants nécessaires au fonctionnement de chacune des fonctions. Dans un contexte « recherche & développement », les ingénieurs ont cependant uniquement participé à la description de l'aspect physique des fonctions reposant sur la nouvelle technologie développée.

	Fonctionnelle	Interaction	Opérationnelle	Organisationnelle	Physique
Ergonome	27	0	0	4	0
Ingénieurs	0	0	1	0	4
Utilisateurs	1	0	0	2	0

(a) Effectifs.

	Fonctionnelle	Interaction	Opérationnelle	Organisationnelle	Physique
Ergonome	96,4%	0	0	66,7%	0
Ingénieurs	0	0	100%	0	100%
Utilisateurs	3,6%	0	0	33,3%	0
TOTAL	100%	0	100%	100%	100%

(b) Pourcentages.

TABLEAU 7.8 – DIMENSIONS du système auxquelles renvoient les exigences circonscrites selon leur SOURCE.

7.3.2.5 L'ergonome justifie principalement ses exigences par des informations récoltées sur le terrain

Il existe un lien fort entre la SOURCE des exigences et leur JUSTIFICATION ($V2=0,21$). Autrement dit, selon les acteurs de la conception, les exigences exprimées ne sont pas

justifiées de la même manière.

Ainsi, les exigences exprimées par les utilisateurs sont principalement justifiées par leurs caractéristiques spécifiques et les contraintes de la situation ($n=3$ et $n=3$, tableau 7.9a). Par rapport aux autres acteurs, ils emploient surtout leurs caractéristiques propres pour expliquer les exigences ($txl=+2,98$, tableau 7.9b). Ces caractéristiques renvoient plutôt à leurs préférences. Par exemple, les utilisateurs ont demandé la possibilité de régler le seuil des alertes, car certains préfèrent être prévenus plus tôt que d'autres.

Les ingénieurs s'appuient uniquement sur leur expertise propre ou bien sur les contraintes de la situation pour justifier leurs exigences ($n=2$ et $n=4$, tableau 7.9a). Il s'agit uniquement des contraintes techniques. En comparaison des autres acteurs, les exigences identifiées proviennent surtout des contraintes de la situation ($txl=+0,87$). Il s'agit uniquement de contraintes techniques. Par exemple, les experts en thermohydraulique identifient la nécessité de modéliser tel ou tel équipement, car celui-ci est nécessaire pour que les calculs soient représentatifs du process réel.

	Caract. utilisateurs	Contraintes	Dires d'expert	Limites SHM
Ergonome	2	14	16	12
Ingénieurs	0	4	2	0
Utilisateurs	3	3	2	1

(a) Effectifs observés.

	Caract. utilisateurs	Contraintes	Dires d'expert	Limites SHM
Ergonome	-0,46	-0,11	0,07	0,24
Ingénieurs	-1	0,87	-0,02	-1
Utilisateurs	2,93	-0,06	-0,34	-0,5

(b) Taux de liaison.

TABLEAU 7.9 – JUSTIFICATIONS des exigences selon leur SOURCE.

Les exigences identifiées par l'ergonome sont justifiées par les connaissances ergonomiques dont il dispose ($n=16$), les contraintes de la situation future ($n=14$), les limites du SHM identifiées sur le terrain ($n=12$), et, dans une moindre mesure, les caractéristiques spécifiques des futurs utilisateurs ($n=2$). Par rapport aux experts en thermohydraulique, l'ergonome s'appuie sur des contraintes organisationnelles et non techniques. Relativement aux autres acteurs, l'ergonome a surtout identifié des exigences provenant des limites du SHM ($txl=+0,24$) et de ses connaissances sur l'humain au travail ($txl=+0,19$).

Autrement dit, la plupart des exigences identifiées par l'ergonome proviennent d'informations issues du terrain⁴ ($n=28$, soit 63,6%) plutôt que des connaissances acquises au cours de sa formation ou de ses expériences antérieures ($n=16$, soit 36,4%). Bien que ce résultat mette en avant l'importance des données issues de la connaissance du terrain, il indique également qu'une part non négligeable des exigences sont justifiées par les connaissances acquises par l'ergonome au cours de sa formation.

4. Correspond à la somme des exigences provenant des caractéristiques des utilisateurs, des contraintes de la situation et des limites du SHM.

7.3.2.6 Selon leurs dimensions, l'ergonome justifie différemment ses exigences

Après avoir comparé les exigences selon les acteurs les formulant, nous abordons plus en détail les exigences formulées par l'ergonome.

Les exigences fonctionnelles proviennent davantage de l'expertise de l'ergonome (n=12, soit 38,7%, voir tableau 7.10), des limites du SHM identifiées lors des analyses de terrain (n=10, soit 32,3%), et des contraintes de la situation (txl=-0,19) que des caractéristiques des utilisateurs (txl=-0,29).

	Caract. utilisateurs	Contraintes	Dires d'expert	Limites SHM
Fonctionnelle	1	8	12	10
Interaction	1	2	2	0
Opérationnelle	0	0	0	2
Organisationnelle	0	4	2	0

(a) Effectifs

	Caract. utilisateurs	Contraintes	Dires d'expert	Limites SHM	Total
Fonctionnelle	3,2%	25,8%	38,7%	32,3%	100%
Interaction	20%	40%	40%	0	100%
Opérationnelle	0	0	0	100%	100%
Organisationnelle	0	66,7%	33,3%	0	100%

(b) Pourcentages.

TABLEAU 7.10 – JUSTIFICATIONS des exigences identifiées par l'ergonome selon la dimension du système auxquelles elles font référence.

Les exigences concernant l'interaction avec l'outil sont plutôt justifiées les contraintes de la situation (n=2, soit 40%) et l'expertise ergonomique (n=2, soit 40%), et, dans une moindre mesure par les caractéristiques des futurs utilisateurs (n=1, soit 20%). Par exemple, une exigence d'interaction comme « l'outil doit être accessible depuis les différents postes en salle de commande » est motivée par la nécessité de piloter la montée en puissance à plusieurs opérateurs (contrainte organisationnelle de la situation).

Les exigences opérationnelles sont toujours justifiées par les limites du SHM identifiées lors des observations (n=2 sur un total de 2). Par exemple, l'exigence « *l'outil doit pouvoir être utilisé lors des phases [...] et des phases [...]* » est justifiée par « *c'est lors de ces phases que les utilisateurs rencontrent le plus de difficultés* ».

Enfin, les exigences organisationnelles proviennent surtout des contraintes de la situation (n=4, soit 66,7%). Il s'agit principalement de contraintes organisationnelles et non techniques. Par ailleurs, les exigences organisationnelles restantes sont justifiées par les connaissances scientifiques de l'ergonome (n=2, soit 33,3%). Par exemple, ce dernier a justifié la nécessité de former les opérateurs à l'utilisation du nouvel outil par ses connaissances en ergonomie. En effet, d'après Amalberti (1996), dans les environnements à risques, les opérateurs doivent pouvoir tester un nouvel outil dans une situation où les erreurs qu'ils produiront n'auront pas d'impacts sur la sécurité de l'installation.

7.4 Synthèse et conclusion

Cette étude empirique indique des résultats intéressants sur les rôles des différents acteurs et sur l'origine des exigences qu'ils ont identifiées. Dans cette section, nous résumons les principaux résultats concernant ces deux points.

7.4.1 Ergonomes, ingénieurs et utilisateurs sont complémentaires dans la définition des exigences

Comme déjà souligné dans la littérature, les ergonomes peuvent aider à définir les exigences globales et les différentes parties d'un système (Daniellou, 2004; Garrigou et al., 2001; Tran Van et al., 2008; Wulff et al., 1999b; Daniellou, 1996), en particulier ses aspects fonctionnels, organisationnels et l'interaction (Anastassova, 2006; Bastien & Scapin, 2004; Burkhardt & Sperandio, 2004; Chapanis, 1996). Cette étude exploratoire et empirique étend ces éléments et fournit une meilleure compréhension de la contribution des ergonomes co-concepteurs à la formulation des exigences. L'étude montre que les différents acteurs sont complémentaires et travaillent collectivement à définir les différentes dimensions du système (figure 7.8).

	Physique	Opérationnelle	Fonctionnelle	Interaction	Organisationnelle
Exigences générales	Utilisateurs				
	Ingénieurs	Ergonome			
Exigences circonscrites	Ingénieurs		Ergonome		Ergonome
					Utilisateurs

Figure 7.8 – Contribution des acteurs du projet selon la dimension du système et le niveau de définition des exigences.

Les utilisateurs finaux et l'ergonome collaborent dans la définition des lignes directrices de la conception du système : son but général (dimension fonctionnelle), et les conditions globales d'usage (dimension opérationnelle). Cependant, au niveau fonctionnel les utilisateurs ont, contrairement à l'ergonome, plutôt exprimé ce qu'ils ne voulaient pas. Par exemple, « *l'outil ne doit pas servir à ce que la hiérarchie puisse espionner les actions des opérateurs* ».

De son côté, l'ergonome a défini (1) les orientations globales pour l'interaction des utilisateurs avec le système et les aspects organisationnels (par exemple, la répartition des tâches entre les utilisateurs), et (2) les objectifs des fonctions (exigences circonscrites) dérivées des orientations fonctionnelles générales.

Enfin, les ingénieurs et les utilisateurs ont défini la dimension physique du système. Cependant, ils n'ont pas contribué de la même manière. Les premiers ont défini les technologies faisant fonctionner le système tandis que les utilisateurs se sont chargés de sa localisation physique en salle de commande. Les ingénieurs s'attachent surtout à

définir les aspects techniques sur système : architecture, technologie utilisée, performances techniques.

En participant de manière plus équilibrée aux deux niveaux de définition, l'ergonome assure une continuité, un lien, permettant de traduire les orientations générales en exigences plus concrètes. Par exemple, au cours d'une réunion les utilisateurs ont identifié l'exigence générale suivante : « *les tâches de prise de décision doivent être aidées, il ne faut pas les substituer par la machine* ». L'ergonome a utilisé cette exigence pour formuler des exigences plus circonscrites, particularisées à travers certaines fonctions de l'outil. L'ergonome a une position intermédiaire entre les ingénieurs et les futurs utilisateurs.

La dimension fonctionnelle ayant un impact déterminant sur l'ensemble du système, les utilisateurs doivent intervenir le plus tôt possible dans le processus d'analyse des besoins. La remise en cause d'orientations générales des fonctions par les utilisateurs à un stade avancé de la conception peut rallonger considérablement le projet et son coût (Beevis, 2003; Hendrick, 2003).

Par ailleurs, l'étude ne montre pas toute la portée de la coopération entre ingénieurs et ergonomes, en particulier dans l'énoncé des exigences fonctionnelles. En effet, comme nous le verrons dans la dernière étude, même si des exigences fonctionnelles sont formulées par l'ergonome, il est nécessaire de vérifier avec les ingénieurs leur faisabilité technique. Ainsi, une coopération étroite entre eux est indispensable.

7.4.2 L'analyse de l'activité et les connaissances disciplinaires de l'ergonome se complètent

Concernant l'origine des exigences proposées par l'ergonome, l'étude confirme les conclusions d'une étude de cas publiée par Lamonde (2000). Notre recherche apporte cependant des éléments supplémentaires. Nous montrons que ni les connaissances spécifiques de l'ergonome ni l'analyse du travail ne sont suffisantes pour que l'ergonome puisse formaliser l'ensemble de ses exigences. Les deux sont obligatoires. L'ergonome s'appuie fortement sur les résultats du terrain pour justifier la plupart des exigences organisationnelles, opérationnelles, d'interaction et certaines fonctions. Ses connaissances et son expertise en ergonomie sont néanmoins importantes pour définir de nouvelles fonctions et définir les lignes directrices de l'interaction.

Les limites du SHM identifiées renvoient principalement aux difficultés des opérateurs découvertes au cours de l'analyse du travail. Autrement dit, une partie des fonctionnalités formulées visent à pallier les difficultés auxquelles les opérateurs font face. Cependant, les justifications renvoient aussi à la nécessité de fiabiliser certains éléments de l'activité des opérateurs. Par exemple, une fonction a spécialement été demandée pour fiabiliser la surveillance de certains paramètres clés pour la sûreté du process.

Par rapport aux autres acteurs, l'ergonome se fonde davantage sur les limites du SHM pour justifier les fonctions qu'il propose. Il semble mieux placé pour détecter les difficultés liées aux limites du SHM actuel. Ceci peut notamment s'expliquer par le caractère non conscient de certaines de ces difficultés. En effet, confrontés à une difficulté, les opérateurs développent des stratégies. Celles-ci, parfaitement intégrées à l'activité, ne sont pas forcément exprimables de manière consciente par les opérateurs. Or, dans le cadre d'un projet de conception, l'analyse ergonomique du travail vise notamment à mettre en

lumière ces stratégies et les difficultés sous-jacentes en vue de leur correction.

Cependant, d'autres fonctionnalités proviennent de l'expertise ergonomique et des connaissances scientifiques issues de la littérature sur des situations de travail analogues. Les connaissances mobilisées sont surtout des connaissances sur l'usage de systèmes informatiques, ou des connaissances sur des situations similaires provenant de la littérature. Par exemple, la fonction principale de l'outil est largement inspirée par les aides fournies aux pilotes d'avion. L'ergonome a identifié cette fonction en étudiant la littérature sur le pilotage manuel (tâche principale des opérateurs dans la montée en puissance). Ainsi, l'ergonome justifie également certaines fonctions par leur utilisation dans des situations similaires.

Ce résultat indique que la présence de l'ergonome est nécessaire pour profiter de ses connaissances spécifiques. Cette vision contraste avec la tradition des Human Factors. Dans cette dernière, les concepteurs ont accès aux connaissances accumulées par la recherche en ergonomie à travers des manuels et des guides de style (Chapanis, 1996). Certaines études ont mis en lumière les difficultés rencontrées par les concepteurs dans l'utilisation de ce type de connaissances et, par conséquent, de l'inefficacité de cette approche (Burns & Vicente, 1996; Haslegrave & Holmes, 1994; Wulff et al., 1999b). Lorsque l'ergonome est directement intégré dans l'équipe de conception, il peut traduire les connaissances spécifiques dans une forme utilisable par d'autres concepteurs, c'est-à-dire sous une forme adaptée au système en conception (Chapanis, 1996).

7.5 Limite

Une limite de cette étude est le manque de prise en compte des exigences non retenues. En effet, au cours du projet, certaines exigences ont été écartées par l'un des acteurs du projet. Étant rejetées, ces exigences ne contribuent pas directement au projet et à la conception du système. Celles-ci indiquent néanmoins certaines préoccupations des parties prenantes. Dans cette optique, les raisons de leur éviction seront analysées dans la troisième étude empirique de la thèse.

Chapitre 8

Analyse des spécifications produites par l'équipe de conception

Les spécifications sont l'aboutissement de l'analyse des besoins. Elles constituent la réponse aux exigences identifiées et exprimées par l'ensemble des acteurs de la conception. Alors que les exigences sont destinées aux concepteurs, les spécifications sont destinées aux développeurs. Elles doivent donc être suffisamment détaillées et précises pour être implémentées par ces derniers.

Après avoir détaillé les objectifs de cette étude, nous exposons la méthode utilisée pour y répondre. Puis, les résultats de ces analyses sont présentés. Enfin, nous les discutons au vu de la littérature.

8.1 Objectifs

La formulation des spécifications est la dernière étape de l'analyse des besoins. À ce niveau de description du système, il s'agit de définir précisément la solution élaborée par les concepteurs et les utilisateurs. Par rapport aux contraintes exprimées à travers les exigences, les spécifications doivent apporter une solution. De la même manière que les exigences, les spécifications décrivent le système sur différentes dimensions : fonctionnelle, organisationnelle, opérationnelle, physique et l'interaction. L'objectif de cette étude est d'analyser le rôle de l'ergonome dans la construction des spécifications. Celui-ci se décline en trois axes complémentaires, faisant intervenir l'étude de quatre variables (figure 8.1).

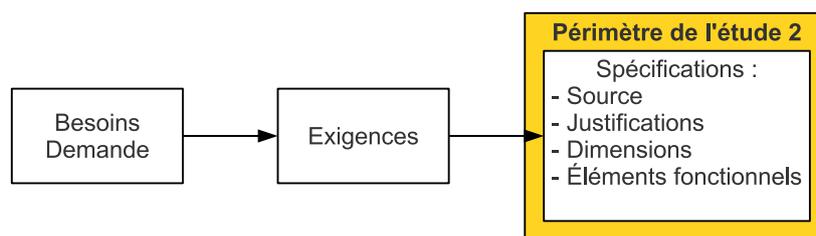


Figure 8.1 – Positionnement de l'étude dans le processus d'analyse des besoins.

Premièrement, il s'agit d'analyser les rôles effectifs des différents acteurs de la conception afin de clarifier leur implication respective. Ces rôles seront déterminés à partir de l'analyse des spécifications contenues dans le cahier des charges final du projet APTS. Comme dans la première étude, seules les spécifications retenues sont analysées. Ici, nous étudions la SOURCE (ingénieur, ergonomiste, utilisateur) et la DIMENSION du système à laquelle fait référence chaque spécification (fonctionnelle, opérationnelle, interaction) formulée dans le cahier des charges. Nous attendons notamment une plus forte implication des ingénieurs et une plus faible participation des utilisateurs à la définition des spécifications, surtout au niveau fonctionnel. Par contre, compte tenu de la littérature sur le sujet et de la répartition des tâches prescrites dans le projet APTS entre les concepteurs, une plus forte implication de l'ergonomiste au niveau des spécifications de l'interface est prévisible. Puis, afin de détailler certains éléments de l'activité de l'ergonomiste, nous allons déterminer les JUSTIFICATIONS utilisées pour produire ses spécifications. Ainsi, nous nous attendons à ce que les spécifications proviennent plutôt de dires d'expert plutôt que des analyses de terrain.

Deuxièmement, il s'agit de caractériser la manière dont le travail de l'ergonomiste, des utilisateurs et des autres concepteurs s'articule dans la construction des spécifications fonctionnelles. En informatique, ces spécifications constituent le cœur du système. Elles déterminent à quoi sert le système, comment il va fonctionner, et vont borner son utilisation, notamment en donnant les éléments auxquels les utilisateurs auront accès ou pas¹. Pour cela, nous allons déterminer quels sont les ÉLÉMENTS FONCTIONNELS spécifiés par les différents acteurs.

Enfin, pour cerner davantage les rôles des acteurs, nous comparons les SOURCES, DIMENSIONS et JUSTIFICATIONS des exigences et des spécifications. D'après Chapanis (1996), à ce stade du projet, il ne devrait pas y avoir de spécification des aspects organisationnels de la solution. De même, nous nous attendons à un nombre moindre de spécifications physiques.

8.2 Méthode

Comme dans la première étude, les spécifications contenues dans le cahier des charges vont être traitées à l'aide d'une analyse de contenu thématique (Bardin, 1998). Le cahier des charges renferme l'ensemble des spécifications communiquées aux développeurs chargés

1. Nous n'évoquerons pas, ici, la forme des éléments du système auxquels les utilisateurs auront accès et la manière d'interagir avec eux. Ces aspects sont traités par les spécifications d'interaction.

de l'industrialisation² de l'outil. Cette section détaille la manière dont les spécifications sont analysées.

8.2.1 Recueil des données

Les premières spécifications ont été consignées dans la première version du cahier des charges rédigée par l'ergonome et diffusée à l'équipe de conception en juin 2009. Le processus de spécification s'est terminé avec la livraison de la dernière version du cahier des charges en mai 2011. Seules les exigences retenues étant spécifiées, seules les spécifications correspondantes sont contenues dans le cahier des charges. Au cours des différentes réunions ou séances de travail, l'ensemble des acteurs (utilisateurs, ingénieurs, et l'ergonome) a pu prendre part à la définition des spécifications.

Dans le cahier des charges, la description des fonctions comporte trois éléments³ : justification de la fonction (besoins sous-jacents), formulation des exigences relatives à celles-ci, et enfin, spécification de la fonction. Les spécifications relatives à une fonction sont regroupées dans cette dernière partie, quelle que soit la dimension du système définie (fonctionnelle, opérationnelle ou interaction). Ainsi, tous les éléments consignés dans ces parties du cahier des charges sont traités par l'analyse de contenu thématique (Bardin, 1998).

Les spécifications d'interface sont exprimées par deux moyens. D'un côté, l'interface est décrite textuellement, que ce soit de manière statique ou dynamique. Par exemple, « *La couleur de fond des lignes du tableau alterne entre deux couleurs* » et « *Lorsque l'opérateur clique sur ce bouton, le message suivant apparaît [...]* ». De l'autre côté, une illustration graphique est fournie. Dans cette étude, seules les parties textuelles seront analysées. En effet, nous ne disposons pas de moyen méthodologique pour analyser les spécifications contenues dans une illustration graphique. Pourtant, de nombreux éléments de l'interface du système sont contenus dans ces illustrations et ne sont pas repris sous forme textuelle : couleur des caractères, fontes utilisées, la couleur des différents éléments de l'interface, etc.

8.2.2 Traitement des données obtenues

Dans un premier temps, le corpus est découpé par fonction. Puis pour chaque fonction, toutes les spécifications sont relevées.

Au total, 4338 spécifications ont été identifiées dans le cahier des charges. Chacune est traitée par une analyse de contenu thématique. Pour chaque spécification, les variables suivantes sont déterminées : la SOURCE et la JUSTIFICATION des spécifications, les DIMENSIONS du système auxquelles elles font référence et les ÉLÉMENTS FONCTIONNELS définis.

La SOURCE de la spécification correspond à l'acteur exprimant ou formalisant la spécification. Les spécifications peuvent être définies par l'ergonome, les ingénieurs et les utilisateurs. Les spécifications exprimées par les utilisateurs sont ensuite consignées dans

2. L'industrialisation d'un logiciel correspond à l'étape de programmation informatique de l'outil. À la fin de ce processus, le logiciel doit être opérationnel et prêt à l'emploi.

3. Voir section 4.1 (p. 46) pour une définition et des exemples de chaque élément.

le cahier des charges par l'ergonome.

Les DIMENSIONS du système auxquelles font référence les spécifications sont identiques à celles utilisées dans l'analyse des exigences (chapitre 7, p.77). Cependant, le cahier des charges ne contient aucune spécification physique ou organisationnelle. Seules les dimensions fonctionnelles, opérationnelles et l'interaction sont codées (voir tableau 8.1 pour une définition et des exemples de spécifications).

Dimension	Description du type de spécification	Exemple de spécification
Fonctionnelle	Spécification fonctionnelle. Renvoie à l'utilité du dispositif, à quoi il sert (ou ne sert pas).	« L'outil calcule les paramètres suivants [...] »
Interaction	Spécification non-fonctionnelle. Renvoie à la manière dont les utilisateurs vont interagir avec le futur outil. Les exigences d'interaction sont directement en lien avec l'utilisabilité du dispositif.	« Lorsque les critères d'avertissement définis dans la Fonction 3 sont atteints, l'affichage des paramètres concernés clignote. »
Opérationnelle	Spécification non-fonctionnelle. Correspond à des caractéristiques de performance, d'efficacité et aux conditions d'utilisation du système.	« L'outil doit fournir les résultats pour les prochaines 30 minutes. »

TABLEAU 8.1 – Description des différentes DIMENSIONS d'un système définies par les spécifications.

La JUSTIFICATION de la spécification renvoie à l'origine des éléments utilisés pour justifier les spécifications. N'ayant pas eu l'occasion de recueillir les justifications données par les ingénieurs et les utilisateurs, nous analysons uniquement celles de l'ergonome. Ses spécifications peuvent être justifiées soit par des éléments provenant de ses analyses de terrain, soit par ses dires d'expert. Le tableau 8.2 définit ces catégories de justification.

Justification	Description de la justification des spécifications
Analyses terrain	L'élément spécifié provient des analyses de l'ergonome menées sur le terrain. Il s'agit des caractéristiques sur les futurs utilisateurs, des limites du système humain-machine actuel, des contraintes socio-techniques et organisationnelles de la situation de travail. Ces connaissances proviennent des méthodes mises en place par l'ergonome dans le but de les mettre en lumière.
Dires d'expert	L'élément spécifié provient des connaissances ergonomiques, qu'elles renvoient (1) à des connaissances précisément étayées par la littérature scientifique, des normes ou des guides, ou (2) des appréciations personnelles issues de l'expérience propre de l'ergonome.

TABLEAU 8.2 – Description des types de JUSTIFICATION des spécifications.

L'ÉLÉMENT FONCTIONNEL correspond à un des éléments constitutifs d'une fonction selon la méthode SADT. Cette variable est donc uniquement applicable aux spécifications fonctionnelles. Comme indiqué dans le cadre théorique (section 3.2.2, p. 25), l'ergonomie dispose de connaissances limitées sur la participation des ergonomes aux spécifications fonctionnelles. Les modèles utilisés n'ont pas la précision des modèles de l'ingénierie. S'appuyer sur ce type de modèle permettrait d'appréhender de manière détaillée le rôle de l'ergonome dans la définition de ces spécifications. Dans SADT, une fonction est composée de cinq éléments : un but, des entrées, des sorties, des contraintes et des ressources (figure 8.2). Le tableau 8.3 donne une définition de chaque élément.

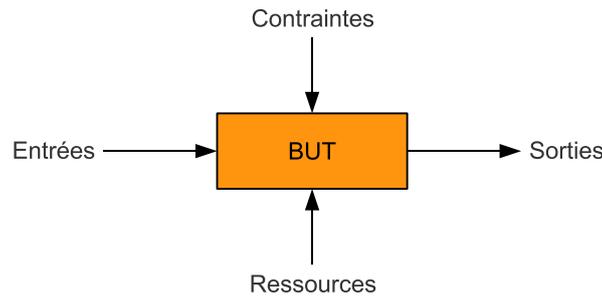


Figure 8.2 – Représentation d’une fonction selon la méthode SADT.

Élément	Description de l’élément fonctionnel	Exemple d’éléments fonctionnels
But	Élément définissant l’objectif d’utilisation de la fonction (généralement un verbe). Il s’agit du nom de la fonction.	« L’opérateur doit être averti lors de l’approche des valeurs limites de DPax (limite droite). »
Entrée	Élément sur lequel la fonction va s’exercer : données, matière première, etc. Ces éléments seront transformés par la fonction.	« Les informations caractéristiques de l’état actuel de la tranche (Pth, Tmoy-Tréf, DPax, dérive du DPax et cote du groupe R) seront récupérées sous [le système d’information de la tranche]. »
Ressource	Moyen (logiciel, etc.) sur lequel repose la fonction pour transformer les données d’entrées en données de sorties. Décrit généralement le « comment » de la fonction, i.e. comment la fonction transforme les entrées en sorties.	« le volume et le débit de dilution pour augmenter la température de 0,1°C, la concentration en xénon et sa pente et le gradient de DPax sont calculés par le modèle [...]. »
Contrainte	Élément de contrôle ou de contrainte d’une fonction. Une contrainte est un élément que la fonction doit prendre en compte. Une règle de contrôle est une règle que la fonction doit suivre pour que les sorties produites soient correctes. Autrement dit, une contrainte altère le fonctionnement de la ressource.	« La valeur seuil pour prévenir les opérateurs est DPax - Limite droite = 2%Pn. »
Sortie	Éléments « en sortie » de la fonction produit par les ressources sur les données d’entrée. Il s’agit, du point de vue des utilisateurs, des éléments affichés sur l’interface par la fonction.	« Le système répond en affichant la cote à laquelle doit être placé le groupe R (en nombre de pas). »

TABLEAU 8.3 – Description des ÉLÉMENTS FONCTIONNELS composant une fonction. Une fonction ne comporte pas nécessairement de contraintes, tous les autres éléments sont nécessaires. Dans le tableau, les exemples de chaque élément sont issus d’une même fonction.

Le codage des spécifications a été effectué sur une version non modifiée du cahier des charges. Lorsqu’une spécification est exprimée plusieurs fois, seule la plus précise des occurrences est conservée dans le codage.

L’identification des éléments constitutifs de la fonction nécessite de comprendre le fonctionnement de l’outil décrit dans le cahier des charges fonctionnel. La validation et la vérification du codage ont été effectuées auprès d’un des ingénieurs du projet.

8.3 Résultats

Les résultats sont présentés selon les trois axes suivants :

- analyse du rôle des acteurs dans la formulation de l'ensemble des spécifications ;
- analyse du rôle des acteurs dans la production des spécifications fonctionnelles ;
- comparaison des spécifications et des exigences.

Pour analyser les croisements entre variables, nous utilisons, comme dans la première étude, l'analyse du V2 de Cramér (1999) et des taux de liaison. Cependant, comme nous l'avons déjà évoqué, ce type d'analyse n'est pas toujours réalisable, notamment lorsqu'il existe une très forte disparité entre les effectifs des modalités d'une même variable. Ainsi, en cas d'inapplicabilité, nous nous appuyerons sur l'analyse des proportions pour analyser les interactions entre variables.

8.3.1 Les rôles des acteurs sur l'ensemble des spécifications

Le rôle des utilisateurs, ingénieurs et de l'ergonome est analysé à travers les dimensions du système que chacun spécifie. Après une description univariée des SOURCES des spécifications, des DIMENSIONS auxquelles elles font références et des JUSTIFICATIONS employées par l'ergonome, nous analysons les liens entre ces variables.

8.3.1.1 Les ingénieurs ont produit la plupart des spécifications

La plupart des spécifications ont été rédigées par les ingénieurs du projet (n=3999 soit 92,2%, voir 8.3). Les spécifications décrivant notamment le fonctionnement technique du système, il n'est pas étonnant de voir que l'ergonome (n=332, soit 7,7%) et les utilisateurs (n=3 soit 0,1%) ont formulé relativement peu de spécifications par rapport aux ingénieurs.

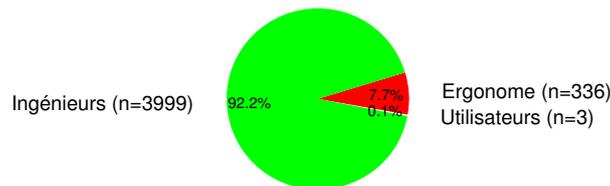


Figure 8.3 – SOURCES des spécifications.

L'ergonome a cependant produit un nombre de spécifications largement supérieur aux utilisateurs. Ainsi, quantitativement, les ingénieurs ont la plus forte implication dans la rédaction des spécifications, suivis de l'ergonome. Cependant, ceci ne présage pas l'importance, en termes qualitatifs, de l'importance des contributions des autres acteurs. De plus, comme nous le verrons ci-après, ces résultats varient selon le type de spécification considéré.

8.3.1.2 La majorité des spécifications sont fonctionnelles

La grande majorité des spécifications sont fonctionnelles (n=4141 soit 95,5%, voir figure 8.4). Ainsi, comparativement, peu de spécifications d'interface (n=187 soit 4,3%) et opérationnelles (n=10 soit 0,2%) sont retrouvées. Le faible nombre de spécifications d'interface peut s'expliquer par leur méthode de codage. En effet, ce type de spécification s'exprime surtout à travers les maquettes physiques. Les textes les accompagnant contiennent moins d'informations que les maquettes. Par exemple, la taille des différents éléments composant l'interface ne sont pas spécifiés dans le texte, mais directement dans la maquette.

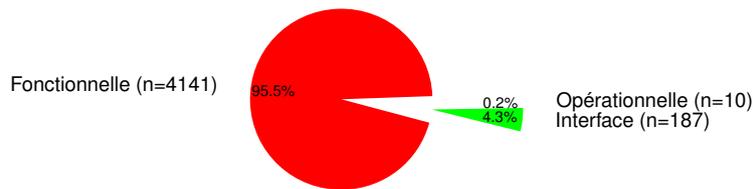


Figure 8.4 – DIMENSIONS du système décrites dans les spécifications formulées.

Concernant les spécifications opérationnelles, il s'agit de spécifications de performance et de spécifications relatives aux conditions d'usage. Par exemple, « l'outil doit simuler l'évolution sur au moins les 30 prochaines minutes ». Leur faible nombre ne reflète pas leur importance. Celui-ci peut s'expliquer par le type d'outil conçu, mais aussi les performances implicitement attendues de la part de l'équipe de conception. Les spécifications de performance sont concentrées sur les performances des calculs les plus cruciaux. Les performances concernant le temps de réponse de l'interface n'ont, semble-t-il, pas été jugées utiles à inclure.

8.3.1.3 L'ergonome définit davantage l'interface que les spécifications fonctionnelles

Les spécifications fonctionnelles sont surtout rédigées par les ingénieurs (n=3997 soit 96,5%, voir tableau 8.4a et 8.4b). L'ergonome a pris en charge l'ensemble des spécifications d'interface (n=185, tableau 8.4a et 8.4b) et la plupart des spécifications opérationnelles (n=7, tableau 8.4a et 8.4b). Les utilisateurs interviennent à la marge sur toutes les spécifications fonctionnelles et d'interface (n=2 et n=1).

	Fonctionnelle	Interface	Opérationnelle
Ergonome	142	186	8
Ingénieurs	3997	0	2
Utilisateurs	2	1	0

(a) Effectifs.

	Fonctionnelle	Interface	Opérationnelle
Ergonome	3,43%	99,47%	80%
Ingénieurs	96,52%	0	20%
Utilisateurs	0,05%	0,53%	0
TOTAL	100%	100%	100%

(b) Pourcentages.

TABLEAU 8.4 – SOURCE des spécifications selon la DIMENSION spécifiée.

L'absence des ingénieurs sur la construction des spécifications d'interface reflète clairement la répartition des rôles élaborée dès le début du projet. L'ergonome était entièrement responsable de la conception de l'interface du système.

Concernant les spécifications opérationnelles, l'ergonome s'est exclusivement concentré sur les spécifications relatives aux conditions d'usages de l'outil. Par exemple, « *l'outil doit afficher au moins les trois prochains [mouvements]* ». Les spécifications opérationnelles formulées par les ingénieurs concernent uniquement les performances de calcul de l'outil. Par exemple, « *l'outil est capable de calculer en [XX] secondes le transitoire [...]* ».

Enfin, la participation de l'ergonome au niveau fonctionnel est plus modeste (n=145, tableau 8.4a). Nous verrons ultérieurement (§ 8.3.2) que ce résultat est cependant contrasté selon les éléments fonctionnels considérés.

8.3.1.4 Les spécifications de l'ergonome sont davantage justifiées par son expertise propre

La majorité des spécifications formulées par l'ergonome proviennent de son expertise plutôt que d'informations provenant des analyses de terrain (figure 8.5). En effet, 196 spécifications sur les 337 formulées sont issues de ses dires d'expert et de ses connaissances sur l'humain en activité finalisée.

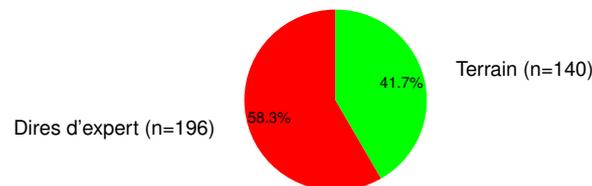


Figure 8.5 – JUSTIFICATION des spécifications formulées par l'ergonome.

Ce résultat est cependant à contraster selon la dimension du système considérée. Il existe un lien fort entre la dimension et la justification des spécifications de l'ergonome ($V2=0,54$). Autrement dit, selon la dimension du système, la justification des spécifications tend plutôt vers le terrain ou vers l'expertise (tableau 8.5b).

	Dires d'expert	Terrain
Fonctionnelle	23	119
Interface	167	19
Opérationnelle	6	2

(a) Effectifs observés.

	Dires d'expert	Terrain
Fonctionnelle	-0,72	1,01
Interface	0,54	-0,75
Opérationnelle	0,29	-0,4

(b) Taux de liaison.

TABLEAU 8.5 – JUSTIFICATION des spécifications ergonomiques selon les DIMENSIONS du système auxquelles elles font référence.

Alors que les spécifications fonctionnelles proviennent essentiellement des éléments acquis par l'ergonome lors des analyses sur le terrain ($txl=+1,01$), les spécifications d'interface et de performance sont surtout issues de l'expertise de l'ergonome ($txl=+0,54$ et $txl=+0,29$). Ainsi, il semble que les analyses de terrain ont permis à l'ergonome de spécifier finement les fonctions (*entrées, sorties, etc.*), c'est-à-dire l'utilité du système. À l'inverse, il s'est davantage appuyé sur son expertise pour définir la manière dont le dispositif sera utilisé, c'est-à-dire notamment son utilisabilité.

8.3.2 Les rôles des acteurs dans la production des spécifications fonctionnelles

Comme nous l'avons vu, les spécifications fonctionnelles consistent à détailler les buts, entrées, sorties, ressources et contraintes de chaque fonction. Dans le cahier des charges d'APTS, ces éléments sont spécifiés en proportion variable. Afin de mieux cerner les rôles des acteurs, nous analyserons les données de manière quantitative et qualitative.

8.3.2.1 Analyses quantitatives des éléments fonctionnels en fonction de leur source

La plupart des éléments spécifiés dans le projet sont des ressources ($n=2655$, figure 8.6) et des contraintes ($n=1371$). Comparativement, peu de sorties ($n=58$), de buts ($n=30$) et d'entrées ($n=27$) sont spécifiés. Cette grande différence s'explique surtout par la nature de l'outil et son fonctionnement. En effet, le fonctionnement technique de l'outil repose sur un grand nombre d'équations, chacune d'elles constituant une ressource. Ces équations, pour donner des résultats valides, nécessitent l'écriture de très nombreuses contraintes. De cette manière, si pour une fonction, peu d'entrées et sorties sont nécessaires, un nombre élevé de ressources et de contraintes est indispensable pour transformer les entrées en sorties.

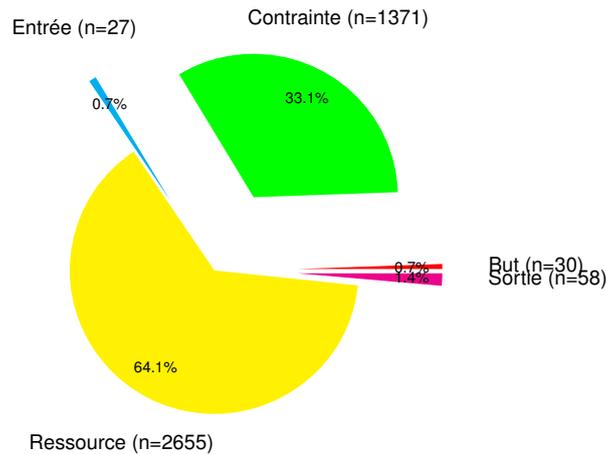


Figure 8.6 – ÉLÉMENTS FONCTIONNELS spécifiés.

L'ergonome a spécifié tous les buts ($n=30$, voir tableaux 8.6a et 8.6b) et la plupart des sorties ($n=53$, voir tableaux 8.6a et 8.6b). Toutes les ressources et la grande majorité des contraintes sont spécifiées par les ingénieurs (respectivement $n=2655$ et $n=1324$, voir tableaux 8.6a et 8.6b). Enfin, l'ergonome et les ingénieurs ont spécifié à peu près autant d'entrées l'un que l'autre (respectivement $n=14$ et $n=13$, voir tableaux 8.6a et 8.6b). Les utilisateurs ont uniquement contribué à travers l'identification de 2 contraintes fonctionnelles.

	Ergonome	Ingénieurs	Utilisateurs
But	30	0	0
Contrainte	45	1324	2
Entrée	14	13	0
Ressource	0	2655	0
Sortie	53	5	0

(a) En nombre.

	Ergonome	Ingénieurs	Utilisateurs	TOTAL
But	100%	0	0	100%
Contrainte	3,3%	96,6%	0,1%	100%
Entrée	51,9%	48,1%	0	100%
Ressource	0	100%	0	100%
Sortie	91,4%	8,6%	0	100%

(b) En pourcentages.

TABLEAU 8.6 – ÉLÉMENTS FONCTIONNELS spécifiés selon la SOURCE.

Cependant, pour mieux comprendre le rôle des acteurs, ces résultats quantitatifs doivent être complétés par une analyse plus qualitative.

8.3.2.2 Analyse qualitative de la contribution des acteurs à la définition des éléments fonctionnels

Définir les *buts* des fonctions consiste à définir ce que la fonction fait et donc à quoi elle sert, c'est-à-dire son utilité. Que ce soit au niveau des exigences⁴ ou des spécifications, la plupart des buts des fonctions sont formulés par l'ergonome. Il existe cependant une différence de formulation entre ces deux niveaux de description. D'un côté, l'exigence formule ce que devra faire le système, alors que la spécification présente ce que la fonction fait. Par exemple, concernant une des fonctions du système, une exigence stipule que « *l'outil doit afficher l'ensemble des paramètres pertinents pour le pilotage* ». La spécification fonctionnelle correspondante est « *le système récupère et affiche de manière regroupée les paramètres utilisés par les opérateurs : [liste des paramètres]* ». D'une formulation impérative, l'ergonome est passé à une formulation descriptive.

En toute logique, les ingénieurs ont défini toutes les *ressources* nécessaires au fonctionnement du système. Ils ont également spécifié la majorité des *contraintes fonctionnelles* utiles à son bon fonctionnement, l'ergonome et les utilisateurs ayant uniquement contribué de manière modeste à leur formulation. Cependant, des différences importantes existent selon leur source. Les ingénieurs identifient uniquement des contraintes figées dans le système, non accessibles aux utilisateurs finaux. Ce sont des contraintes fixées lors de la conception. Une fois le système en opération, leur modification est difficile. Elle implique nécessairement des coûts supplémentaires. A contrario, la plupart des contraintes de l'ergonome et toutes celles des utilisateurs sont réglables par les utilisateurs finaux. Ils pourront directement les contrôler, sans modifications profondes du système. Du point de vue de la conception, il s'agit de donner une maîtrise plus importante sur le fonctionnement du système – bien que circonscrite à des éléments spécifiques – aux utilisateurs. Par exemple, une des fonctions du système est de prévenir les utilisateurs en cas de franchissement de seuils sur certains paramètres. Les seuils constituent des contraintes de la fonction d'alerte. Cependant, ceux-ci ne sont pas figés, les opérateurs peuvent les modifier en temps réel. Ils gardent donc un contrôle sur le fonctionnement de cette fonction. Ainsi, de notre point de vue, il est possible de distinguer, d'une part, des « contraintes techniques », figées lors de la conception et, d'autre part, des « contraintes utilisateurs », réglables par ces derniers pour leur donner une part de contrôle sur les fonctions de l'outil.

Les *entrées* ont autant été spécifiées par l'ergonome que par les ingénieurs. Cependant, elles correspondent à deux types d'entrées différentes. Les entrées définies par l'ergonome sont des données destinées à être entrées manuellement par les utilisateurs. Ce sont des informations qu'ils manipulent, connaissent, et dont ils cherchent la transformation par le biais de la fonction. Inversement, les ingénieurs ont spécifié les entrées dont les utilisateurs n'ont pas à se préoccuper. Ce sont des entrées automatiquement récupérées par l'outil. Cependant, pour une même fonction, les deux types d'entrées peuvent être indispensables. Ainsi, pour transformer les entrées fournies par les utilisateurs, le système peut avoir besoin d'entrées supplémentaires pour fournir les résultats attendus. Pour les distinguer, nous emploierons les termes d'« entrées manuelles » pour qualifier les premières, et d'« entrées automatiques » pour qualifier les secondes.

Enfin, les *sorties* du système ont surtout été spécifiées par l'ergonome plutôt que par les

4. Voir les résultats de la première étude, section 88 (p. 7.3.2.4).

ingénieurs. Comme les contraintes et les entrées, les sorties définies par l'ergonome sont d'un type différent de celles des ingénieurs. L'ergonome s'est chargé des sorties visibles par les utilisateurs, celles affichées sur l'interface. Il s'agit des informations nécessaires aux utilisateurs pour réaliser leurs tâches. Les ingénieurs ont spécifié des sorties non destinées aux utilisateurs, mais indispensables au fonctionnement de l'outil. Ce sont, en quelque sorte, des sorties « internes ». En effet, certaines sorties d'une fonction sont utiles au fonctionnement d'autres fonctions ou de sous-fonctions. Cependant, puisqu'elles ne présentent pas d'intérêt particulier pour les utilisateurs, celles-ci ne sont pas affichées.

8.3.3 Comparaisons entre exigences et spécifications

Afin de mieux cerner les différences de rôles entre les acteurs dans l'analyse des besoins, nous comparons les DIMENSIONS, les SOURCES et les JUSTIFICATIONS des exigences et des spécifications contenues dans le cahier des charges.

8.3.3.1 Dimensions du système décrites dans les exigences et les spécifications

Les spécifications ne portent pas sur les mêmes dimensions du système que les exigences ($V2=0,26$). Il n'y a aucune spécification organisationnelle et physique tandis qu'au niveau des exigences, le système est décrit selon toutes ses dimensions (tableau 8.7).

	Fonctionnelle	Organisationnelle	Opérationnelle	Interaction	Physique
Exigences	35	8	5	5	6
Spécifications	4139	0	10	187	0

(a) En nombre.

	Fonctionnelle	Organisationnelle	Opérationnelle	Interaction	Physique
Exigences	59,3%	13,6%	8,5%	8,5%	10,2%
Spécifications	95,5%	0	0,2%	4,3%	0

(b) En pourcentage.

TABLEAU 8.7 – DIMENSIONS du système décrites selon le niveau de description du système.

Concernant les aspects organisationnels, nos résultats confirment les écrits de Chapanis (1996). Les spécifications organisationnelles sont rédigées plus tard dans un projet de conception. Si une exigence organisationnelle renvoie à la formation des exigences, les spécifications correspondantes peuvent notamment formaliser les plans des dites formations. Cet aspect ne fait pas partie du mandat de l'équipe de conception.

Les spécifications physiques renvoient aussi bien aux constituants logiciels et leur architecture dans le système qu'aux aspects topologiques et topographiques du matériel physique. Ces derniers n'étant pas gérés par l'équipe projet d'APTS mais par les développeurs, les spécifications physiques ne renvoient qu'aux constituants logiciels. Cependant, ils n'ont pas nécessairement besoin d'être précisés dans les spécifications.

Un deuxième point intéressant est la forte augmentation du nombre de spécifications d'interaction et de spécifications fonctionnelles et opérationnelles (tableau 8.7). L'en-

semble de ces résultats indique que le système, au niveau fonctionnel, opérationnel et au niveau de l'interaction est surtout décrit dans les spécifications alors que ses aspects organisationnels et physiques sont uniquement définis au niveau des exigences.

Ainsi, il apparaît que, même si les spécifications renvoient généralement à une ou plusieurs exigences, toutes les exigences ne sont pas « traduites » en termes de spécifications. Les deux niveaux de description du système sont donc complémentaires.

8.3.3.2 Les acteurs n'agissent pas au même niveau de définition de la solution

Les acteurs du processus de conception ne semblent pas agir pas de la même façon selon le niveau de description du système qu'il participent à décrire. Les tableaux 8.8a et 8.8b indiquent effectivement des disparités fortes entre les acteurs. Si l'ergonome produit 74,5% des exigences, il ne produit plus 7,7% des spécifications. Les ingénieurs identifient seulement 10,2% des exigences alors qu'ils formulent la plus grande partie des spécifications (92,2%). Enfin, les utilisateurs fournissent peu d'exigences (15,3%) et encore moins de spécifications (0,1%).

	Ergonome	Ingénieurs	Utilisateurs
Exigences	44	6	9
Spécifications	336	3999	5

(a) En nombre.

	Ergonome	Ingénieurs	Utilisateurs	Total
Exigences	74,5%	10,2%	15,3%	100%
Spécifications	7,7%	92,2%	0,1%	100%

(b) En pourcentage.

TABLEAU 8.8 – SOURCE comparée des exigences et des spécifications.

Ces résultats indiquent que le niveau d'implication n'est pas le même selon l'acteur considéré. Les ergonomes et les utilisateurs ont plus contribué que les ingénieurs au niveau des exigences. A contrario, les ingénieurs ont davantage participé à la production des spécifications.

8.3.3.3 Justification des exigences et des spécifications de l'ergonome

Ne disposant pas de données sur toutes les justifications apportées par les ingénieurs aux spécifications, seules les données relatives à l'ergonome seront analysées.

Comme nous l'avons évoqué précédemment, la plupart des spécifications de l'ergonome sont justifiées par des dires d'expert. Il est intéressant de mettre en regard ce résultat avec la manière dont les exigences ont été justifiées (tableau 8.9a). Même si le lien global entre le type de justification et le niveau d'abstraction de définition de la solution (exigence vs. spécification) est faible ($V2=0,03$), l'analyse des taux de liaison montre cependant des résultats notables (tableau 8.9b).

	Terrain	Dire d'expert
Exigences	28	16
Spécifications	141	196

(a) Effectifs observés.

	Terrain	Dire d'expert
Exigences	0,43	-0,35
Spécifications	-0,06	0,05

(b) Taux de liaison.

TABLEAU 8.9 – Justification des exigences et des spécifications.

Ainsi, les exigences de l'ergonome sont davantage issues du terrain que de ses dires d'experts. A contrario, les spécifications proviennent plutôt de ses dires d'expert que du terrain d'étude.

8.4 Synthèse et conclusion

En posture de co-concepteurs, les ergonomes participent à la formulation des spécifications, notamment à travers la conception de maquettes d'interface (Chapanis, 1996; Février-Quesada et al., 2003; Loup-Escande, 2010; Wulff et al., 1999b). Notre étude permet d'étendre et de compléter ces connaissances, en précisant la répartition des tâches entre ergonomes et ingénieurs et les éléments sur lesquels s'appuie l'ergonome pour fournir ces spécifications. Enfin, en comparant ces résultats avec ceux de la première étude, nous pouvons analyser la manière dont le rôle des acteurs change en fonction du niveau de définition du système.

8.4.1 Rôles des acteurs dans la formulation des spécifications

Comme nous venons de l'évoquer, si l'ergonome peut participer aux spécifications, la littérature n'aborde pas les dimensions du système qu'il participe à définir.

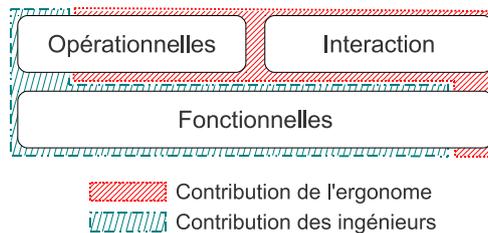


Figure 8.7 – Répartition des spécifications entre les acteurs selon la dimension du système considérée. La représentation fait apparaître une zone plus grande pour les spécifications fonctionnelles que pour les spécifications opérationnelles et d'interaction. Il y a quantitativement beaucoup plus de spécifications fonctionnelles que d'autres spécifications car il y a beaucoup plus de spécifications d'interaction que de spécifications opérationnelles. Notons que, pour améliorer la lisibilité, les proportions ne sont pas respectées.

L'étude indique que l'ergonome et les ingénieurs se sont partagé les différents types de spécifications (figure 8.7). Reflétant la répartition des tâches prescrites dans le projet, l'ergonome s'est chargé de produire l'ensemble des spécifications d'interface. Il a également formulé la plupart des spécifications opérationnelles relatives aux conditions d'usage du futur système. Concernant cette dimension, les ingénieurs ont uniquement contribué à la description des performances techniques du système.

Les ingénieurs ont essentiellement participé à travers la spécification des aspects fonctionnels. Ils en sont les principaux auteurs. L'ergonome a quantitativement peu contribué à celles-ci. Cependant, d'un point de vue qualitatif, la collaboration entre l'ergonome et les ingénieurs sur la définition des spécifications fonctionnelles est essentielle. La figure 8.8 présente une modélisation de cette coopération en regard de la participation des ingénieurs et de l'ergonome à la spécification des différents éléments fonctionnels.

L'ergonome, en tant que co-concepteur, s'est chargé de spécifier (1) les buts des fonctions, (2) ce que les utilisateurs entrent dans le système (entrées manuelles), (3) ce qu'ils peuvent voir dans l'interface (sorties utilisateurs), et (4) les éléments leur permettant de contrôler le fonctionnement du système (contraintes utilisateurs). Les ingénieurs ont plutôt spécifié (1) les ressources sur lesquelles le fonctionnement du système s'appuie, (2) les entrées nécessaires au fonctionnement, mais ne nécessitant pas d'intervention des utilisateurs (entrées automatiques), (3) les sorties utilisées en interne par le système, mais non accessibles aux utilisateurs (sorties internes), et (4) les éléments permettant de contraindre le fonctionnement, mais n'étant pas manipulables par les utilisateurs.

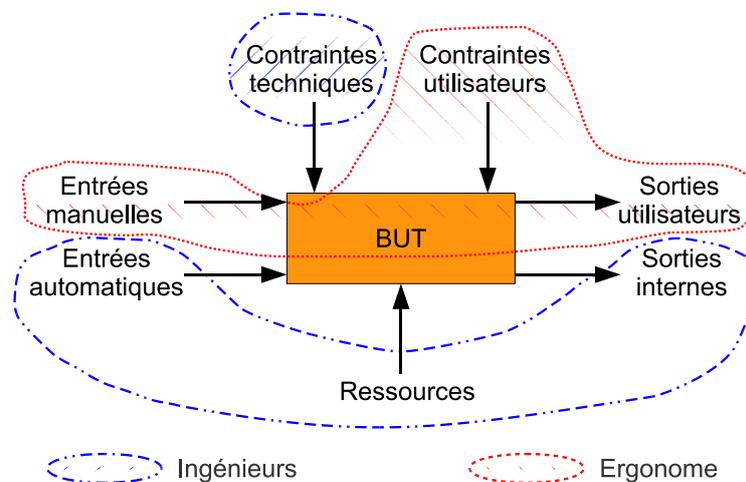


Figure 8.8 – Modélisation de la coopération entre les membres de l'équipe de conception sur la définition des spécifications fonctionnelles.

La distinction entre « fonction utilisateur » et « fonction système » de Maguire (1998), Diaper (2004), et Chapanis (1996) est bien confirmée. Pour rappel, les fonctions utilisateur correspondent à la description de ce que le système fait du point de vue de l'utilisateur. Les fonctions système (ou fonctions techniques) renvoient aux fonctions nécessaires au fonctionnement des fonctions utilisateurs. D'après les auteurs les premières sont du ressort de l'ergonome alors que les secondes sont définies par les autres concepteurs.

Cependant, nos résultats permettent de préciser ces notions. Une « fonction utilisateur »

correspond à (1) ce que fait la fonction du point de vue de l'utilisateur (son but), et (2) aux éléments qui lui sont accessibles : *entrées*, *contraintes* et *sorties*. Une « fonction système » renvoie à l'ensemble des éléments d'une fonction permettant de transformer les *entrées* en *sorties* et sur lesquels les utilisateurs n'ont pas de contrôle. Cependant, de ce point de vue, une « fonction utilisateur » et « une fonction système » font référence à la même fonction. Notre définition des fonctions système et utilisateur a donc l'avantage d'unifier les deux concepts. L'ergonome et les ingénieurs ne travaillent pas sur des fonctions différentes. Seul le point de vue sur la fonction change. Il convient donc de parler plutôt de « partie » utilisateur et de « partie » système des fonctions, l'une étant spécifiée par l'ergonome et l'autre par les ingénieurs.

8.4.2 Évolution des rôles entre la formulation des exigences et celle des spécifications

Notre étude permet d'identifier des éléments sur l'évolution du rôle des différents acteurs quant à la formulation des exigences et des spécifications (figure 8.9). Plusieurs éléments notables ressortent de cette analyse.

Concernant les ingénieurs, au niveau des exigences, ils définissent uniquement les aspects physiques du système et les conditions techniques de validité de son fonctionnement. Au niveau des spécifications, s'ils détaillent des éléments relatifs à la performance du futur système, ils définissent surtout les éléments nécessaires à son fonctionnement (ressources, contraintes techniques, etc.). Ainsi, que ce soit au niveau des exigences ou au niveau des spécifications, les ingénieurs concentrent leurs efforts sur la définition des aspects techniques du système.

	Physique	Opérationnelle	Fonctionnelle	Interaction	Organisationnelle
Exigences générales	Utilisateurs				
	Ingénieurs	Ergonome			
Exigences circonscrites	Ingénieurs		Ergonome		Ergonome
					Utilisateurs
Spécifications		Ingénieurs			
		Ergonome			

Figure 8.9 – Répartition des tâches concernant la définition des différentes dimensions du système, selon le niveau de description.

Au niveau des exigences générales, l'ergonome contribue à définir les dimensions fonctionnelles et opérationnelles, il définit seul les grandes lignes de l'interaction et les aspects organisationnels. Dans la formulation des exigences circonscrites, il focalise son travail sur les différentes fonctions du système. S'il participe à décrire quelques éléments organisationnels, il ne formule aucune exigence d'interaction ou opérationnelle. Enfin, comme

nous l'avons vu, au niveau des spécifications, l'ergonome s'attache à définir les conditions d'usage et l'ensemble des éléments fonctionnels accessibles aux utilisateurs. Ainsi, l'ergonome concentre son intervention sur la définition des aspects relatifs à l'usage et à l'interaction avec le futur système.

Concernant les exigences générales, les utilisateurs ont contribué (aux côtés de l'ergonome ou des ingénieurs) à définir les dimensions fonctionnelles, opérationnelles et physiques. Au niveau des exigences circonscrites, ils ont uniquement participé à définir la répartition des tâches entre les utilisateurs et les fonctions du système définies par l'ergonome (exigences organisationnelles). Enfin, ils n'ont quasiment pas participé à la définition des spécifications. Ainsi, en passant des exigences générales aux exigences circonscrites et aux spécifications, la participation des utilisateurs s'est quantitativement amoindrie. Cependant, leur contribution est déterminante. En effet, en contribuant à la définition des exigences générales, ils orientent l'ensemble des exigences circonscrites et des spécifications.

Pourtant, les utilisateurs ont, tout au long du projet, autant eu l'occasion d'agir sur les exigences générales que sur les autres niveaux de description du système. Cependant, même s'ils ont été intégrés au processus de conception, ils n'y ont pas participé en tant que co-concepteur. Selon l'échelle de Darses & Reuzeau (2004), leur niveau de participation n'est pas suffisant pour agir pleinement sur la conception du système. Dans APTS, les utilisateurs ont été consultés en vue de recueillir leurs avis et suggestions relatifs au système (degré 3 de la participation). Il n'a pas été possible de les inclure davantage. En effet, une participation plus importante des utilisateurs aurait nécessité un engagement clair, dès le début du projet, des commanditaires et de la hiérarchie des utilisateurs. De cette manière, il semble que seuls les acteurs ayant le statut de concepteur (ergonome et ingénieurs) définissent les exigences circonscrites et les spécifications. Toutefois, à notre connaissance, aucune étude n'indique s'il est préférable que les utilisateurs disposent de ce statut.

8.4.3 L'ergonome justifie différemment les exigences et les spécifications

Par ailleurs, de manière générale, les exigences de l'ergonome sont davantage issues des analyses de terrain que de ses connaissances, et inversement pour les spécifications. Il semble que, plus l'ergonome « concrétise » le système et entre dans le détail de la forme qu'il prendra, plus son expertise prend le pas sur les éléments recueillis dans les analyses de terrain. En somme, le terrain est plus utile pour définir les exigences que les spécifications y correspondant. Autrement dit, dans une perspective cognitive, il semble que l'ergonome se sert davantage des éléments de terrain pour définir le problème que sa solution.

Cependant, les résultats de cette étude indiquent que l'ergonome justifie plutôt ses spécifications fonctionnelles par des éléments du terrain. A contrario, ses spécifications d'interaction proviennent plutôt de son expertise et de ses connaissances en ergonomie. Ainsi, les éléments provenant des analyses de terrain semblent essentiels pour construire de manière détaillée les fonctions du système. Elles n'apparaissent cependant pas indispensables pour concevoir l'interface de celui-ci. Construire l'interface requiert donc une expertise et des connaissances autres que celles nécessaires à la définition détaillée des fonctionnalités. Par

exemple, les ergonomes peuvent s'appuyer sur des normes, des guides d'évaluation⁵ (par exemple, Bastien & Scapin, 1993), des recueils de recommandations ergonomiques (par exemple, Smith & Mosier, 1986) ou des manuels scientifiques (par exemple, Karwowski, 2006).

8.5 Limites

Une première limite de cette étude est le manque de prise en compte des spécifications d'interface contenues sous forme graphique dans le cahier des charges. Cependant, l'ergonome étant seul responsable de ces spécifications, et, celles-ci ayant reçu peu de modifications de la part des utilisateurs ou des ingénieurs, les résultats de l'étude auraient été peu influencés.

Enfin, une deuxième limite est inhérente au choix du cahier des charges pour analyser les spécifications. De même que pour l'analyse des exigences, le cahier des charges contient uniquement les spécifications finales et validées. Ainsi, nous n'avons pas analysé les spécifications émises tout au long du projet. Celles-ci sont cependant étudiées dans le chapitre suivant.

5. Comme les auteurs le précisent, les guides d'évaluation peuvent aussi être utilisés en conception.

Chapitre 9

L'ergonome dans l'évolution du cahier des charges

Plus d'un an après le commencement du projet APTS, l'ergonome a formalisé la première version du cahier des charges. Dans les deux premières études, nous avons analysé le rôle de l'ergonome, des ingénieurs et des utilisateurs dans la formulation des exigences et des spécifications contenues dans la version finale du cahier des charges. Cependant, cette version est le résultat de nombreuses évolutions. Elle ne contient pas l'ensemble des exigences et des spécifications exprimées tout au long du projet. Seules celles acceptées et validées sont présentes dans la version finale.

Après une présentation des objectifs de l'étude, nous décrivons la méthode employée pour y répondre. Ensuite, nous détaillons les résultats obtenus. Enfin, nous concluons en regard de la littérature et des précédentes études.

9.1 Objectifs

L'objectif de cette étude est de comprendre, à travers l'analyse des évolutions apportées, comment le cahier des charges initialement proposé par l'ergonome a évolué tout au long du projet APTS et les rôles des différents acteurs dans cette évolution. Seules les évolutions des éléments liés à l'utilité et à l'usage du système sont analysées. Les choix techniques sous-tendant ces aspects et toutes les évolutions les concernant sont du ressort exclusif des ingénieurs du projet (cf. chapitre 8). Il n'y a donc pas de coordination entre les différents acteurs. De plus, la thèse vise à analyser le rôle de l'ergonome dans l'analyse des besoins. Or, l'ergonome participe uniquement à définir l'utilité et l'usage du système, et non son fonctionnement technique¹.

Une évolution renvoie à tout changement dans la description du système contenue dans le cahier des charges. Plus spécifiquement, une évolution correspond à l'ajout, la suppression ou la modification d'un élément du système envisagé. L'élément peut concerner les deux niveaux de description du système : les exigences et les spécifications. De plus, l'élé-

1. Il faut cependant rappeler que les deux sont interdépendants. Les aspects techniques des fonctions dépendent de leur utilité et usage prévus. De même, une fonction dépend des possibilités techniques.

ment en question peut renvoyer aux différentes dimensions du système : fonctionnelles, organisationnelles, opérationnelles ou d'interaction.

Les propositions d'évolutions, ainsi que leur implémentation dans le cahier des charges, sont faites lors de séances de travail individuel ou collectif appelées *points d'évolutions*. La figure 9.1 schématise le processus d'évolution entre les différentes versions du cahier de charges. Lorsque des évolutions sont évoquées en séances collectives, elles sont ensuite implémentées par l'ergonome, lors de séances de travail individuel. Cependant, dans ce cadre, l'ergonome va également proposer de nouvelles évolutions.

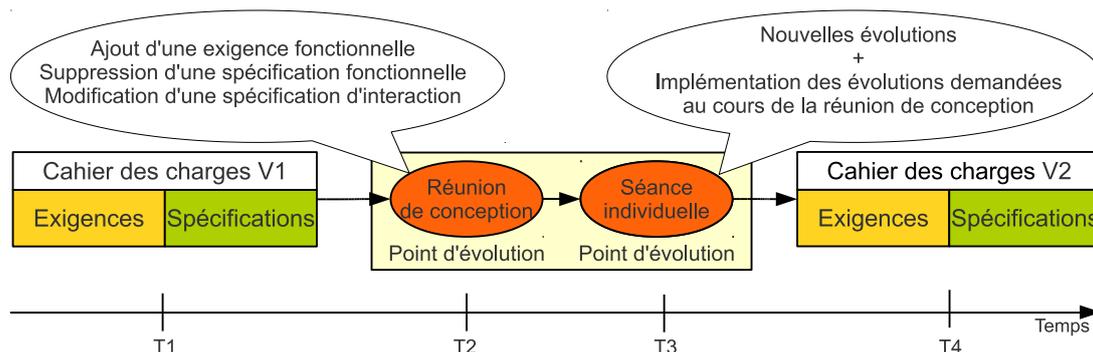


Figure 9.1 – Processus d'évolution entre les différentes versions de la solution.

Les évolutions proviennent des différents acteurs du projet. Les séances de travail individuel sur les aspects liés à l'utilité et à l'usage du système sont réservées à l'ergonome. Par contre, les séances de travail collectif sont l'occasion pour les autres acteurs du projet (utilisateurs et ingénieurs) d'intervenir et débattre sur ces questions.

Enfin, le processus d'évolution du cahier des charges fait intervenir une double évaluation (figure 9.2). Celle-ci repose sur l'emploi de critères spécifiques reflétant le point de vue et le domaine d'expertise des acteurs. La première évaluation est négative et concerne la version actuelle du cahier des charges. Elle est exprimée à travers la proposition d'une évolution constituant une alternative à la solution contenue dans le cahier des charges actuel. Celle-ci est, à son tour, évaluée par les acteurs en présence. À l'issue de cette deuxième évaluation, la proposition d'évolution peut être acceptée ou refusée.

Ainsi, l'objectif de cette étude est de déterminer qui fait évoluer le cahier des charges (la source des évolutions), quand ces évolutions ont lieu (le type de point d'évolution), les éléments du système concernés (niveau de description et dimension du système), et les critères invoqués par les acteurs pour faire évoluer le cahier des charges ou au contraire, refuser une demande d'évolution.

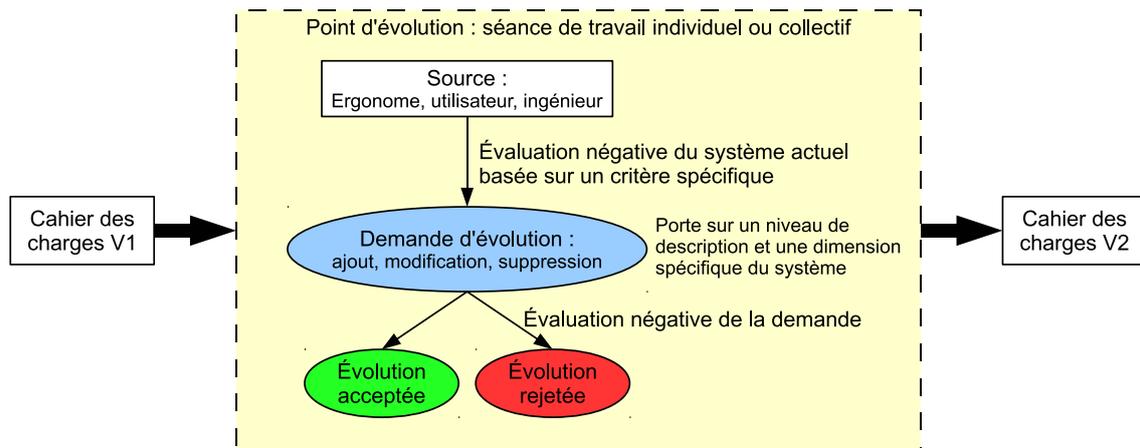


Figure 9.2 – Description du processus d'évolution du système.

Plus précisément, nous cherchons des liens entre ces variables. Nous attendons que les différents acteurs emploient de critères différents pour motiver les évolutions qu'ils demandent ou, au contraire, pour refuser celles proposées par les autres acteurs. Par ailleurs, comme dans les deux premières études, nous prévoyons que les acteurs ne feront pas évoluer les mêmes dimensions du système, et que leurs évolutions ne porteront pas sur les mêmes niveaux de description (exigences vs. spécifications). Enfin, les divers acteurs ne contribueront pas de la même manière selon le type de point d'évolution considéré.

9.2 Méthode

Dans le projet APTS, le cahier des charges contient deux types de représentations permettant de décrire le système envisagé : l'ensemble des exigences et des spécifications sous forme textuelle, et la maquette sous forme graphique. Cette dernière traduit, de manière concrète, les spécifications et exigences formulées par les acteurs. L'analyse des besoins étant un processus itératif, l'ensemble de ces éléments évolue tout au long du processus. Cependant, les deux représentations du futur système ne sont pas nécessairement synchronisées. La maquette peut présenter des éléments n'étant pas encore formalisés sous forme textuelle, et inversement. De plus, la maquette ne traduit pas nécessairement l'ensemble des spécifications et exigences. Par exemple, les exigences organisationnelles ne sont pas forcément portées de manière visible sur la maquette. Ainsi, pour analyser l'évolution du cahier des charges, il est nécessaire d'étudier les évolutions demandées et apportées sur les éléments textuels et graphiques du cahier des charges.

9.2.1 Recueil de données

Les données analysées sont les évolutions demandées ou directement apportées au cahier des charges par les acteurs du projet APTS. Leur recueil a débuté après la diffusion, en juin 2009 dans le cadre d'une réunion de conception, de la première version du cahier des charges rédigée par l'ergonome. Seules les évolutions apportées après cette réunion sont comptabilisées. Les dernières évolutions prises en compte ont été discutées lors d'une réunion de conception en 3 mai 2011.

Selon le point d'évolution considéré, les moyens d'identification des évolutions sont différents (cf. tableau 9.1). Concernant les séances collectives de travail, deux cas peuvent se présenter selon qu'une trace audio ait pu être conservée ou non. Seules les réunions ont pu être enregistrées en audio. En tout, dix des onze réunions de l'équipe de conception et les deux réunions de présentation du système auprès des opérateurs ont été enregistrées. Il s'agit exclusivement de réunions où nous étions présent² (en tant qu'ergonome) et ayant eu lieu après la première version du cahier des charges. Au total, environ 26h35 d'enregistrement ont été recueillis et analysés. Ces réunions abordant divers sujets non pertinents pour notre étude, elles n'ont pas été retranscrites mot à mot. L'identification des évolutions est basée sur la ré-écoute systématique des enregistrements. Chaque passage discutant d'une évolution est pris en note afin de remplir la grille de codage établie (voir § 9.2.2).

Point d'évolution	Type	Nombre	Moyen d'identification des évolutions
Observations de terrain	Collectif	2	Annotations sur la maquette
Réunions de développement	Collectif	2	Annotations sur la maquette
Réunion de l'équipe de conception	Collectif	2	Annotations sur la maquette
		9	Enregistrement audio des réunions
Réunion avec les opérateurs	Collectif	3	Enregistrement
Séance de travail individuel	Individuel	14	Différence entre la maquette avant et la maquette après la séance

TABLEAU 9.1 – Moyen de recueil des évolutions concernant les exigences et les spécifications selon le point d'évolution considéré.

Lorsqu'aucune trace audio n'est disponible³, deux moyens d'identification existent. Soit les évolutions discutées ont été directement annotées sur la maquette papier présentée lors de la séance de travail en question, soit, en tant qu'ergonome, nous avons pris des notes de ces demandes. Toutes les séances de travail lors desquelles des évolutions sont évoquées, qu'elles soient individuelles ou collectives, ont comme support commun la maquette, le cahier des charges ou les deux. Les annotations et les notes recueillies comportent assez d'éléments pour remplir la grille d'analyse des évolutions (voir § 9.2.2). Dans le cadre des observations sur le terrain, que ce soit en situation réelle ou en situation simulée, la maquette était systématiquement présentée aux opérateurs. En tout, une dizaine d'opérateurs ont été rencontrés. Il leur était demandé de proposer et de motiver des évolutions qu'ils estimaient nécessaires pour adapter la maquette proposée à leurs attentes.

Enfin, concernant les douze points individuels d'évolution, l'identification des évolutions a été réalisée en deux temps. Pour chaque point d'évolution, nous avons analysé l'état de la maquette avant et l'état de la maquette après une séance de travail individuel de l'ergonome. Étant, l'ergonome auteur des évolutions, une fois les différences détectées, nous avons rempli l'ensemble des éléments nécessaires à la grille de codage des évolutions (voir §9.2.2). De cette manière, nous n'avons pas accès aux évolutions évoquées par l'ergonome non implémentées sur la maquette. Ainsi, le nombre d'évocations d'évolutions

2. Les autres concepteurs se réunissaient sans nous pour faire le point sur leurs avancées respectives et les moyens de résoudre les problèmes rencontrés au niveau technique.

3. L'enregistrement audio des points d'évolution n'était pas toujours possible pour des raisons techniques (enregistreur en panne, bruits parasites importants) ou organisationnelles (interdiction d'enregistrement). En tout, une réunion de conception, les deux réunions de développement, et les observations sur le terrain sont concernées.

est sous-estimé par rapport à la réalité. Cependant, le but de cette étude n'est pas d'analyser la tâche individuelle de l'ergonome en tant que concepteur isolé, mais de comprendre la manière dont son travail s'articule avec celui des autres. Une telle analyse semble superflue compte tenu des objectifs de cette étude.

9.2.2 Traitement des données

Au total, 317 demandes d'évolutions ont été recueillies. La plupart d'entre elles ont été acceptées (n=297). Seules 21 propositions d'évolutions ont été rejetées.

Chacune d'elle a été codée selon sept variables :

- sa SOURCE ;
- le type de POINT D'ÉVOLUTION lors duquel l'évolution est évoquée et sa DATE ;
- le CRITÈRE les motivant ;
- l'élément du cahier des charges qu'elle vise, caractérisé par :
 - le type d'ACTION demandé ;
 - le NIVEAU de description de l'élément ;
 - la DIMENSION à laquelle il fait référence.
- son STATUT.

De plus, les évolutions refusées seront également décrites par la variable ÉVALUATEUR. Celui-ci correspond à l'acteur ayant refusé la demande d'évolution.

La SOURCE renvoie à la catégorie de l'acteur à l'origine de l'évolution. Trois catégories d'acteurs sont identifiées :

- ergonome,
- utilisateurs, c'est-à-dire l'ensemble des parties prenantes rencontrées lors de l'analyse des besoins. La plupart du temps, il s'agit d'opérateurs de salle de commande
- concepteurs, c'est-à-dire les ingénieurs de l'équipe de conception du projet APTS, les experts d'un domaine appelés ponctuellement par l'équipe projet et les développeurs sous-traitants chargés de réaliser la maquette informatique du futur système.

Le type de POINT D'ÉVOLUTION renvoie aux différentes catégories de points d'évolutions retrouvées dans le projet APTS. Ainsi, cinq types de points d'évolutions sont recensés :

- les observations sur le terrain ;
- les réunions avec les opérateurs ;
- les réunions de conception ;
- les réunions de développement ;
- les séances de travail individuel.

Le tableau 9.2 décrit l'ensemble de ces catégories. Seul le POINT D'ÉVOLUTION lors duquel l'évolution est évoquée est codé. Ainsi, si évolution est demandée par un utilisateur lors des observations, et est implémentée par l'ergonome dans une séance de travail individuel ultérieure, l'évolution sera codée avec le POINT D'ÉVOLUTION « observations de terrain ».

Type de point d'évolution	Description
Observation de terrain	Les observations de terrain renvoient aux deux retours sur le terrain après la diffusion de la première maquette du système. Lors de ces observations de terrain, que ce soit en situation simulée ou en situation réelle, l'ergonome a demandé aux opérateurs de proposer et de justifier des évolutions sur la version de la maquette qui leur était soumise.
Réunion de l'équipe de conception	Les réunions de l'équipe de conception font intervenir l'ensemble des concepteurs du projet APTS composé de deux ergonomes et de quatre ingénieurs. Lors de ces réunions, de nombreux éléments concernant le projet sont passés en revue. Le but est de faire le point sur l'avancement du projet, de discuter des aspects organisationnels, mais aussi de faire évoluer le système.
Réunion de développement	Les réunions de développement font intervenir un ou deux ingénieurs de l'équipe de conception, l'ergonome, et un ou deux des développeurs de la maquette informatique. L'objet de ces réunions est de vérifier le travail des développeurs. Cependant, celles-ci conduisent aussi à discuter d'évolutions de la maquette.
Réunion avec les utilisateurs	Les réunions avec les utilisateurs rassemblent l'équipe des concepteurs d'APTS et les futurs utilisateurs du système : les opérateurs de salle de commande. Au cours de ces réunions, la maquette du système est présentée. Il est demandé aux utilisateurs de réagir que ce soit de manière positive ou négative sur celle-ci et de proposer, tout en les justifiant, des évolutions de la maquette.
Séance de travail individuel	Les séances de travail individuel font référence à l'implémentation des évolutions demandées et à l'évolution du cahier des charges par l'ergonome. Seules ces dernières sont codées.

TABLEAU 9.2 – Description des différents types de POINT D'ÉVOLUTION.

Les CRITÈRES d'évolution renvoient aux types d'arguments utilisés pour justifier l'évolution demandée. Ils font référence aux points de vues exprimés par les divers acteurs (chapitre 3). Le tableau 9.3 décrit les catégories utilisées. Celles-ci sont issues de l'analyse de la littérature et d'une analyse exploratoire des données.

Critère	Description du critère	Exemple de verbalisation
Aménagement	Ce critère est utilisé lorsque la source fait évoluer un élément, car un autre élément est modifié. Par exemple, lorsqu'une fonction est ajoutée ou supprimée, l'interface de celle-ci doit l'être également. Ainsi, si l'ergonome doit ajouter un élément d'interface, il devra certainement rectifier (déplacer, redimensionner) d'autres éléments de l'interface. Ces modifications subséquentes sont uniquement réalisées pour aménager l'interface. Sans l'ajout ou la suppression d'un autre élément, elles n'auraient pas eu lieu.	Aucun exemple de verbalisation n'existe.
Risque	Ce critère fait référence au risque potentiel d'utilisation du système décrit dans le cahier des charges. Ici, la source se projette dans l'utilisation future du dispositif et souligne les risques potentiels liés à son utilisation.	Exemple 1 (utilisateur) : « <i>le danger c'est que, vu comment c'est mis [...], il va y avoir un phénomène d'aspiration.</i> » Exemple 2 (utilisateur) : « <i>Moi, ma crainte, c'est que cet outil serve de moyen de contrôle à la hiérarchie.</i> »
Technique	Ce critère est utilisé lorsque la source détecte un élément du cahier de charge techniquement non réalisable, ou techniquement faux.	Exemple 1 : faisabilité technique – Utilisateur : « <i>Est-ce qu'on pourra aussi avoir [cette fonction] sur les tranches 900 ?</i> » – Ingénieur : « <i>sur 900, on a pas [cet élément], donc c'est pas possible.</i> » Exemple 2 (ingénieur) : correction d'un élément techniquement faux « <i>Dans ton interface là, il faut mettre un temps aussi, car sinon un volume tout seul, ça veut rien dire.</i> »
Utilisabilité	Ce critère renvoie à l'utilisabilité supposée d'un élément du système décrit dans le cahier des charges. L'utilisabilité est la capacité d'un système à être utilisé de manière efficace, et efficiente par ses utilisateurs.	Exemple (ingénieur) : « <i>là, il faudrait aussi afficher le temps pour que ce soit plus facile.</i> »
Utilité	Ce critère concerne l'utilité supposée d'un des éléments du système envisagé. Comme l'utilisabilité ou le risque, la source évalue les éléments du système selon l'utilité qu'elle se représente, pas son utilité réelle.	Exemple (utilisateur) : « <i>ce qui serait plus utile, tu vois, c'est de mettre un truc genre qui te donne [ça].</i> »

TABLEAU 9.3 – Description des CRITÈRES utilisés pour faire évoluer les éléments du cahier des charges.

L'ACTION demandée pour faire évoluer le cahier des charges renvoie aux actions possibles sur les éléments de celui-ci. Il s'agit soit d'ajouter, de modifier ou de supprimer des éléments du cahier des charges. Le tableau 9.4 donne les définitions de chacune de ces actions.

Action	Définition des actions
Ajout	Évocation d'une nouvelle exigence ou spécification pour le système.
Modification	Proposition d'une alternative par rapport à une spécification ou une exigence existante.
Suppression	Demande de retirer une des exigences ou spécifications existantes.

TABLEAU 9.4 – Définition des ACTIONS d'évolution.

Le NIVEAU de l'élément concerné par l'évolution correspond au niveau de description sur lequel porte l'évolution. Ainsi, l'évolution peut porter soit sur une spécification, soit sur une exigence.

La DIMENSION de l'élément sur lequel porte l'évolution renvoie aux catégories de spécifications ou d'exigences. Ces catégories sont identiques à celles utilisées dans les deux premières études empiriques de la thèse : fonctionnelle, opérationnelle, organisationnelle et d'interaction. Cette étude ne s'intéressant qu'aux évolutions des aspects liés à l'utilité et à l'usage du système décrit dans le cahier des charges, la dimension physique de celui-ci n'est pas concernée.

Enfin, le STATUT de l'évolution fait référence à son acceptation dans le projet. Toutes les évolutions évoquées ne sont pas forcément implémentées. Il se peut qu'un acteur s'oppose à son implémentation. L'acceptation d'une évolution est rarement explicite. Ainsi, une évolution est acceptée tant qu'elle n'est pas refusée explicitement par un des acteurs du projet (appelé ÉVALUATEUR).

9.3 Résultats

Les demandes d'évolutions sont analysées en deux temps. Premièrement, nous étudions les demandes d'évolutions acceptées. Nous les décrivons selon l'ensemble des variables analysées et, ensuite, nous analysons les croisements entre elles. Comme dans les études précédentes, lorsque cela est possible, les liens entre variables seront analysés à l'aide du V2 de Cramér (1999) et des taux de liaison. Deuxièmement, nous examinons les demandes d'évolutions refusées. Après une description des variables les décrivant, elles sont étudiées de manière multivariée à l'aide d'une analyse en composantes multiples (Le Roux & Rouanet, 2004). Contrairement, aux autres études, ce type d'analyse est ici possible compte tenu de la faible différence entre les effectifs des modalités des variables analysées.

9.3.1 Description univariée des évolutions acceptées

Les demandes d'évolutions acceptées sont décrites par sept variables : leur SOURCE, le type de POINT D'ÉVOLUTION lors duquel elles sont discutées, la DATE de ces derniers, les CRITÈRES les motivant, les ACTIONS sur le cahier des charges qu'elles demandent, les DIMENSIONS et le NIVEAU de description du système sur lequel elles portent.

9.3.1.1 La plupart des évolutions proviennent de l'ergonome

Globalement, après la première version du cahier des charges, les aspects liés à l'usage et à l'utilité du système évoluent principalement sous l'impulsion de l'ergonome (voir figure 9.3). Celui-ci énonce environ les deux tiers des évolutions (n=195). Les utilisateurs en proposent moins d'un quart (n=71) et les ingénieurs n'en soumettent qu'environ 10% (n=31).

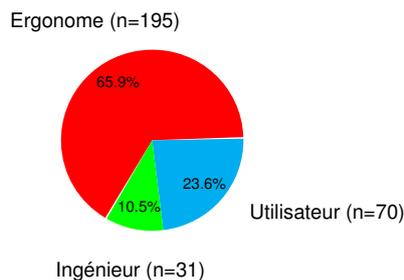


Figure 9.3 – SOURCE des évolutions acceptées.

Ainsi, l'ergonome est un des moteurs principaux de l'évolution de l'utilité et de l'usage du système. Son travail ne s'arrête pas après la production de la première version du cahier des charges. Il continue ainsi à contribuer à son évolution jusqu'à sa version finale. Cependant, ce résultat n'implique pas que, qualitativement, les utilisateurs et les ingénieurs ne font pas évoluer le système de manière déterminante. Nous verrons, dans la suite des résultats, les rôles spécifiques de chacun.

9.3.1.2 Le système est largement complété, amendé et modifié après sa première version

Après sa première version, la majorité des évolutions du cahier des charges sont des ajouts (n=114, soit 38,5%, voir figure 9.4). La description du système reçoit un peu moins de modifications (n=102, soit 34,5%) et encore moins de suppressions (n=80, soit 27%).

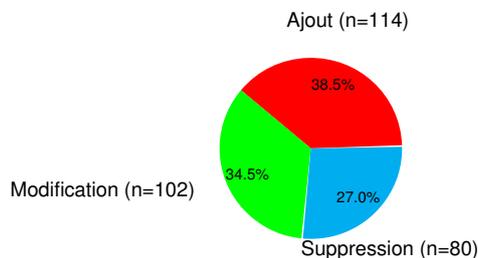


Figure 9.4 – ACTIONS d'évolution demandées sur le système.

La première version du cahier des charges est donc largement amendée (des éléments sont modifiés et supprimés) et complétée tout au long de l'analyse des besoins. Nous verrons pour quelles raisons et quand ces évolutions ont lieu dans la suite du chapitre.

9.3.1.3 Le cahier des charges évolue surtout lors de séances de travail avec les opérateurs

En nombre absolu, la plupart des évolutions ont lieu lors des séances de travail individuel de l'ergonome (n=170, voir figure 9.5) et des réunions avec les utilisateurs (n=68). Cependant, le nombre de points d'évolution varie selon le type considéré. Pour pouvoir les comparer, la moyenne du nombre d'évolutions pour chaque type de point d'évolution a été calculée.

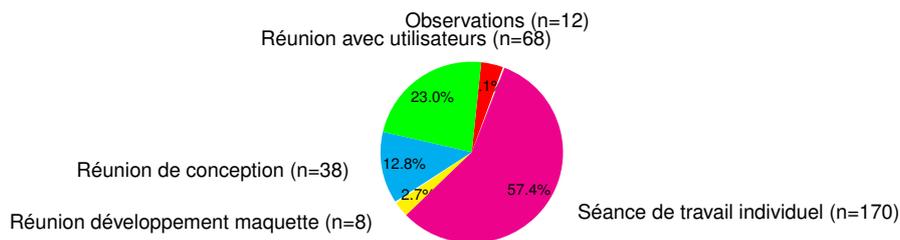


Figure 9.5 – POINTS D'ÉVOLUTION lors desquels les évolutions acceptées ont lieu (effectifs bruts).

Plus d'évolutions ont, en moyenne, été apportées lors des réunions en présence des utilisateurs (moy=25,7 évolutions par réunion, voir figure 9.6) et les séances de travail individuel de l'ergonome (moy=12,2 évolutions par séance). En moyenne, lors des observations, des réunions de conception, et des réunions de développement de la maquette, moins d'évolutions sont proposées (respectivement moy=6,5, moy=4,45, et moy=4 évolutions par point d'évolution).

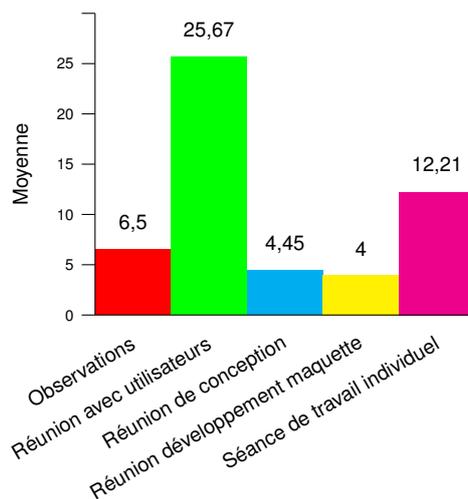


Figure 9.6 – Nombre moyen d'évolutions par type de POINTS D'ÉVOLUTION.

Le nombre moyen d'évolutions est très variable. Lors des réunions avec les utilisateurs, des réunions de conception et des séances de travail individuel de l'ergonome, l'écart-type et l'écart entre le nombre minimum et maximum d'évolutions est élevé (voir tableau 9.5). Malgré cela, davantage d'évolutions sont proposées ou apportées lorsque les utilisateurs sont présents dans les réunions ou que l'ergonome travaille seul.

	Moyenne	Écart-type	Min.	Max.
Observations	6,5	2,12	5	8
Réunion avec utilisateurs	25,67	15,89	16	44
Réunion de conception	4,45	7,03	1	25
Réunion développement maquette	4	1,41	3	5
Séance de travail individuel	12,21	10,81	2	35

TABLEAU 9.5 – Moyenne, écart-type, minimum et maximum d'évolutions par type de POINTS D'ÉVOLUTION.

9.3.1.4 Des évolutions « par paquets » plutôt que continues

Les évolutions du cahier des charges sont apportées « par paquets » plutôt que de manière constante et continue tout au long de l'analyse des besoins (figure 9.7). Le nombre d'évolutions est généralement plus élevé lors des séances de travail individuel de l'ergonome. Toutefois, ce nombre est souvent plus important lorsqu'une réunion avec les utilisateurs précède une séance de travail individuel. De plus, tout point d'évolution confondu, la description du système reçoit le plus grand nombre d'évolutions lors de la dernière réunion avec les utilisateurs.

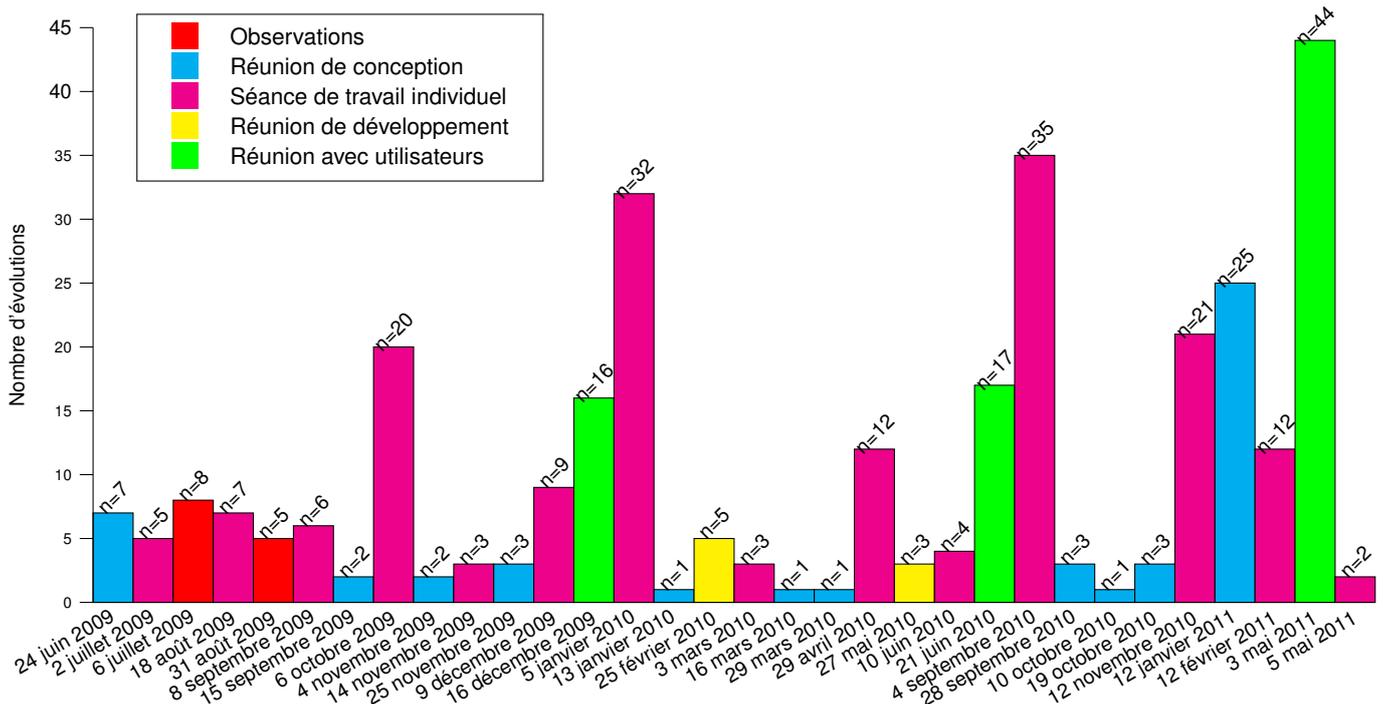


Figure 9.7 – Nombre d'évolutions en fonction du temps.

Ainsi, ce résultat confirme l'importance charnière des réunions avec les utilisateurs et des séances de travail individuel de l'ergonome. De plus, l'alternance entre ces deux types de point d'évolution semble être un moteur important de l'évolution du système.

9.3.1.5 Les évolutions concernent surtout l'interface et les aspects fonctionnels du système

Plus de 90% des évolutions du cahier des charges concernent l'interface (n=152, soit 51,2% voir figure 9.8) et la dimension fonctionnelle (n=120, soit 40,4%) du système. Les dimensions opérationnelles et organisationnelles évoluent peu (respectivement n=13 et n=12, soit 4 et 4,4%).

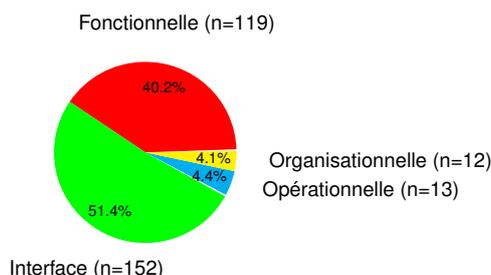


Figure 9.8 – DIMENSIONS du système sur lesquelles portent les demandes d'évolution.

Toutefois, ces chiffres sont à relativiser. La version finale du cahier des charges contient peu d'exigences ou spécifications opérationnelles et organisationnelles. Il semble normal qu'un nombre plus restreint concerne ces dimensions du système.

9.3.1.6 L'utilisabilité et l'utilité sont les principaux critères pour faire évoluer le cahier des charges

Les principaux critères utilisés pour faire évoluer le cahier des charges sont l'utilisabilité (n=119 soit 40,1%, voir 9.9) et l'utilité (n=69, soit 23,2%), suivis par les risques associés à l'utilisation du système (n=59, soit 19,9%). Les critères d'aménagement de l'interface (n=28, soit 9,4%), et les critères de faisabilité et d'exactitude technique (n=22 soit 7,4%) sont moins employés.

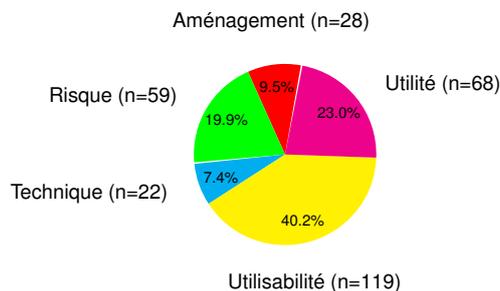


Figure 9.9 – CRITÈRES employés pour évaluer négativement une demande d'évolution ou un élément du système.

La plupart des critères employés font donc référence à l'interface du système (utilisabilité et aménagement). Ce résultat semble refléter la prépondérance des éléments de l'interface dans l'ensemble des éléments du cahier des charges modifiés après sa première version.

9.3.1.7 Les évolutions portent surtout sur les spécifications

Les évolutions du cahier des charges portent sur les spécifications ($n=266$, soit 89,6%, voir figure 9.10) plutôt que sur les exigences ($n=31$, soit 10,4%). Ce résultat n'est pas surprenant compte tenu du nombre élevé de spécifications par rapport au nombre d'exigences.

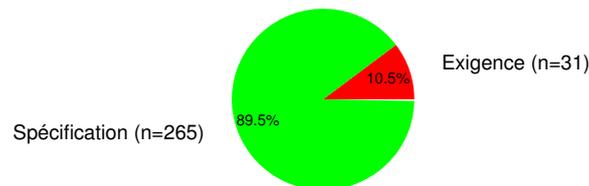


Figure 9.10 – NIVEAUX de la description du système sur lesquels portent les évolutions.

De plus, une évolution des exigences entraîne nécessairement l'évolution d'au moins une voire plusieurs spécifications. La réciproque n'est pas systématiquement vraie. Ainsi, il est normal qu'un nombre plus élevé d'évolutions porte sur les spécifications.

9.3.2 Analyse bivariée des évolutions acceptées

De manière identique aux deux premières études empiriques, nous analysons, lorsque cela est possible, les croisements entre variables à l'aide du V^2 de Cramér et des taux de liaison. Tous les croisements n'ont cependant pas été calculés. Seuls ceux pertinents à notre étude le sont.

9.3.2.1 Selon le type de point d'évolution, la source des évolutions est différente

Seul l'ergonome fait évoluer le cahier des charges quel que soit le type de point d'évolution⁴ (voir tableau 9.6a). Celles-ci ont surtout lieu pendant ses séances de travail individuel (moy=12,1 évolutions). Il est le seul acteur présent à tous les points d'évolution. Cependant, sa contribution est très variable (min=2, max=35, voir tableau en annexe G). Les ingénieurs, absents des deux observations consécutives à la première version du cahier des charges, ont uniquement proposé des évolutions lors des réunions de conception (moy=2,2), des réunions de développement de la maquette (moy=3) et lors des réunions avec les utilisateurs (moy=0,3). Les utilisateurs ont, logiquement, apporté des évolutions au système uniquement lorsqu'ils étaient présents, c'est-à-dire lors des observations (moy=3) et des réunions avec eux (moy=21,3).

4. Comme dans la section précédente, lorsque les résultats concernent le nombre d'évolutions lors des différents points d'évolution, nos résultats sont basés sur le nombre moyen d'évolutions par type de point d'évolution. Les résultats bruts non moyennés sont disponibles en annexe H, p.180.

	Ergonome	Ingénieur	Utilisateur
Observations	3	0	3
Réunion avec utilisateurs	1	0,33	21,33
Réunion de conception	1,27	2,18	0
Réunion développement maquette	1	3	0
Séance de travail individuel	12,14	0	0

(a) Nombre moyen par POINT D'ÉVOLUTION.

	Ergonome	Ingénieur	Utilisateur
Observations	0,31	-1	-0,01
Réunion avec utilisateurs	-0,88	-0,87	0,87
Réunion de conception	-0,04	4,53	-1
Réunion développement maquette	-0,34	5,57	-1
Séance de travail individuel	1,62	-1	-1

(b) Taux de liaison.

TABLEAU 9.6 – SOURCE des évolutions selon le type de POINT D'ÉVOLUTION.

Globalement, le lien entre la source des évolutions et le type de point d'évolution lors duquel elles ont lieu est fort ($V2=0,67$). Ainsi, selon le type de point d'évolution considéré, les acteurs moteurs de l'évolution ne sont pas les mêmes. Les moments privilégiés de l'ergonome pour faire évoluer le cahier des charges sont les observations ($txl=+0,31$) et les séances de travail individuel ($txl=+1,62$, tableau 9.6b). Les ingénieurs apportent surtout leurs évolutions lors des réunions de développement et des réunions de conception ($txl=+5,57$ et $txl=+4,53$). Enfin, les utilisateurs contribuent à l'évolution du cahier des charges lors des réunions avec eux ($txl=+0,87$).

Ces résultats montrent que les différents acteurs ont des moments privilégiés pour faire évoluer le cahier des charges. Ainsi, ce résultat confirme la nécessité d'alternance entre les différents types de points d'évolution. Par exemple, lors des réunions avec les utilisateurs, l'ergonome ou les ingénieurs ne vont faire évoluer le cahier des charges autant que les utilisateurs. Toutefois, cela ne signifie pas que leur présence est inutile. En effet, lorsque les utilisateurs demandent des évolutions, l'ergonome et les ingénieurs doivent (1) évaluer la pertinence de celles-ci au regard de leurs propres critères d'évaluation, et, une fois validées, (2) les implémenter dans le cahier des charges.

9.3.2.2 Selon la source, les critères employés pour justifier les évolutions sont différents

L'ergonome est le seul à employer tous les critères d'évaluation (voir tableau 9.7a). Il recourt surtout à l'utilisabilité ($n=102$) et à l'utilité ($n=55$) pour justifier des changements qu'il fait ou demande dans le cahier des charges. De plus, il est le seul à faire évoluer le cahier des charges pour des raisons d'aménagement de l'interface. Ce résultat reflète le rôle de ce dernier dans le projet (cf. chapitre 5). L'ergonome est chargé de prendre en compte les évolutions faites au cahier des charges dans l'interface du futur système. Il doit aménager celle-ci en fonction des évolutions demandées. Les ingénieurs s'appuient surtout sur des arguments techniques ($n=17$) et d'utilisabilité ($n=11$) pour faire évoluer le cahier des charges. Enfin, les utilisateurs évaluent le cahier des charges en fonction des

risques supposés de l'utilisation du système pour le faire évoluer (n=52). Les utilisateurs s'appuient également sur l'utilité du dispositif (n=11).

	Aménagement	Risque	Technique	Utilisabilité	Utilité
Ergonome	28	7	3	102	55
Ingénieur	0	0	17	11	3
Utilisateur	0	52	2	6	10

(a) Effectifs observés.

	Aménagement	Risque	Technique	Utilisabilité	Utilité
Ergonome	0,52	-0,82	-0,79	0,3	0,23
Ingénieur	-1	-1	6,38	-0,12	-0,58
Utilisateur	-1	2,73	-0,62	-0,79	-0,38

(b) Taux de liaison.

TABLEAU 9.7 – CRITÈRES employés pour faire évoluer le cahier des charges selon la SOURCE de la demande.

Il existe un lien fort entre la source des demandes d'évolutions et les critères employés ($V2=0,48$). L'analyse des taux de liaison (tableau 9.7b) indique des tendances similaires à l'analyse des effectifs. L'ergonome utilise surtout des critères d'aménagement ($txl=0,52$), d'utilisabilité ($txl=0,31$) et d'utilité ($txl=0,21$) pour faire évoluer le cahier de charges. Les ingénieurs emploient principalement des critères techniques ($txl=6,4$). Enfin, les utilisateurs s'appuient plutôt sur les risques supposés liés à l'utilisation du système ($txl=2,69$) pour le faire évoluer.

Ces résultats semblent confirmer que l'ergonome porte davantage les critères d'utilité et d'utilisabilité en vue de faire évoluer le système. Par ailleurs, les résultats indiquent que les différents acteurs s'appuient sur des critères différents pour faire évoluer le cahier des charges. Ils ont donc un point de vue complémentaire sur celui-ci.

9.3.2.3 Ergonome et ingénieurs complètent le cahier des charges, les utilisateurs suppriment des éléments

L'ergonome apporte surtout des modifications et ajoute de nouveaux éléments à la première version du cahier des charges (n=89 et n=85, voir tableau 9.8a). Les ingénieurs y apportent surtout de nouveaux éléments (n=22). Enfin, les utilisateurs vont plutôt en supprimer (n=54).

	Ergonome	Ingénieur	Utilisateur
Ajout	84	22	8
Modification	89	5	8
Suppression	22	4	54

(a) Effectifs observés.

	Ergonome	Ingénieur	Utilisateur
Ajout	0,12	0,84	-0,7
Modification	0,32	-0,53	-0,67
Suppression	-0,58	-0,52	1,85

(b) Taux de liaison.

TABLEAU 9.8 – SOURCE des évolutions selon l'ACTION d'évolution.

Globalement, la liaison entre la source de l'évolution et l'action réalisée sur les éléments du cahier des charges est forte ($V2=0,21$). L'analyse des taux de liaison (voir tableau 9.8b), confirme les résultats issus de l'analyse des effectifs. L'ergonome va surtout ajouter de nouveaux éléments et modifier ceux existants ($txl=+0,11$ et $txl=+0,33$). Les ingénieurs ont, par rapport aux autres, tendance à ajouter des éléments ($txl=+0,83$). Enfin, les utilisateurs font surtout évoluer le cahier des charges en supprimant des éléments existants ($txl=+1,82$).

9.3.2.4 L'ergonome contribue de manière importante à l'évolution de toutes les dimensions du système envisagé

Excepté les aspects physiques, l'ergonome et les utilisateurs apportent des modifications à l'ensemble des dimensions décrivant le futur système (tableau 9.9a). L'ergonome apporte le plus d'évolution quel que soit la dimension considérée. Il contribue surtout à faire évoluer les aspects fonctionnels ($n=59$) et l'interface ($n=120$). Les utilisateurs s'occupent également principalement de la dimension fonctionnelle ($n=39$) et de l'interface ($n=22$). Les ingénieurs ne participent qu'à la modification des aspects fonctionnels ($n=21$) et de l'interface du système ($n=10$).

	Ergonome	Ingénieur	Utilisateur
Fonctionnelle	59	21	39
Interface	120	10	22
Opérationnelle	8	0	5
Organisationnelle	8	0	4

(a) Effectifs observés.

	Ergonome	Ingénieur	Utilisateur
Fonctionnelle	-0,25	0,69	0,39
Interface	0,2	-0,37	-0,39
Opérationnelle	-0,07	-1	0,63
Organisationnelle	0,01	-1	0,41

(b) Taux de liaison.

TABLEAU 9.9 – SOURCE des évolutions selon la DIMENSION du système considérée.

Si la liaison entre la source des évolutions et la dimension du système sur laquelle elle porte est intermédiaire ($V2=0,05$), l'analyse des taux de liaison apporte des résultats notables (tableau 9.9b). Ainsi, par rapport aux autres acteurs, l'ergonome participe davantage à faire évoluer l'interface du système ($txl=+0,2$), et, dans une moindre mesure, ses aspects organisationnels ($txl=+0,01$). Les ingénieurs semblent plutôt focaliser leur attention sur l'évolution des aspects fonctionnels ($txl=+0,68$). Enfin, les utilisateurs vont davantage contribuer à faire évoluer les aspects fonctionnels ($txl=+0,39$), opérationnels ($txl=+0,63$) et organisationnels ($txl=+0,41$).

9.3.2.5 Ingénieurs et ergonome font plutôt évoluer les spécifications, les utilisateurs surtout les exigences

Quel que soit le niveau de description du système (exigence ou spécification), l'ergonome est l'acteur faisant le plus évoluer le cahier des charges (voir tableau 9.10a). L'analyse des taux de liaison contraste cependant ce premier résultat (voir tableau 9.10b).

	Ergonome	Ingénieur	Utilisateur
Exigence	16	1	14
Spécification	179	30	56

(a) Effectifs observés.

	Ergonome	Ingénieur	Utilisateur
Exigence	-0,22	-0,69	0,91
Spécification	0,03	0,08	-0,11

(b) Taux de liaison.

TABLEAU 9.10 – SOURCE des évolutions selon le NIVEAU de description du système.

Même si le lien entre la source des évolutions et le niveau de description du système sur lequel elles portent est faible ($V2=0,03$), les différents acteurs ont des contributions contrastées. L'ergonome et les ingénieurs ont tendance à plutôt faire évoluer les spécifications ($txl=+0,03$ et $txl=+0,08$) que les exigences ($txl=-0,21$ et $txl=-0,69$). A contrario, les utilisateurs font surtout évoluer les exigences ($txl=+0,89$) plutôt que les spécifications ($txl=-0,1$).

Les résultats sont donc en accord avec ceux des deux premières études. Les ingénieurs et l'ergonome participent davantage à la construction des spécifications que les utilisateurs. Leur contribution au cahier des charges final reflète les évolutions apportées tout au long de sa construction.

9.3.2.6 Des critères différents selon que les acteurs ajoutent, modifient ou suppriment des éléments du cahier des charges

Les critères d'aménagement et d'utilisabilité de l'interface sont principalement utilisés pour modifier des éléments du cahier des charges (respectivement $n=63$ et $n=28$, voir tableau 9.11a). Les risques liés à l'utilisation du futur système sont surtout employés pour

supprimer des éléments ($n=47$). Enfin, les critères d'utilité et techniques sont surtout utilisés pour ajouter de nouveaux éléments ($n=50$ et $n=14$).

Il existe un lien global fort ($V2=0,35$) entre les critères sur lesquels s'appuient les acteurs pour faire évoluer le cahier des charges et les actions demandées. Ainsi, selon que les acteurs veulent ajouter, supprimer ou modifier des éléments du cahier des charges, ils invoquent des critères différents. L'analyse des taux de liaison (tableau 9.11b) affine les résultats de l'analyse des effectifs.

	Ajout	Modification	Suppression
Aménagement	0	28	0
Risque	8	4	47
Technique	14	4	4
Utilisabilité	50	63	6
Utilité	42	3	23

(a) Effectifs observés.

	Ajout	Modification	Suppression
Aménagement	-1	1,9	-1
Risque	-0,65	-0,8	1,95
Technique	0,65	-0,47	-0,33
Utilisabilité	0,09	0,54	-0,81
Utilité	0,6	-0,87	0,25

(b) Taux de liaison.

TABLEAU 9.11 – CRITÈRES employés pour faire évoluer le cahier des charges selon l'ACTION d'évolution demandée.

Pour justifier l'ajout d'éléments dans le cahier des charges, les acteurs emploient plutôt des critères techniques et d'utilité ($txl=+0,64$ et $txl=+0,61$), et, dans une moindre mesure, d'utilisabilité ($txl=+0,09$). Pour modifier des éléments du cahier des charges, les ergonomes, ingénieurs et utilisateurs vont surtout utiliser des critères d'utilisabilité et d'aménagement ($txl=+0,54$ et $txl=+1,91$). Enfin, en vue de supprimer des éléments du cahier des charges, les acteurs évoquent surtout des critères de risques liés à l'utilisation du système et d'utilité ($txl=+1,96$ et $txl=0,54$).

Autrement dit, si de nouveaux éléments sont rajoutés, ils sont justifiés par des arguments techniques ou parce qu'ils sont utiles aux futurs utilisateurs. Les éléments du cahier des charges sont modifiés pour aménager l'interface et la rendre plus utilisable. Enfin, si certains de ces éléments sont supprimés, c'est parce qu'ils sont supposés inutiles ou risqués pour l'activité.

9.3.2.7 Des critères différents pour justifier les évolutions selon la dimension du système

L'évolution de la dimension fonctionnelle du futur système est surtout justifiée par des critères d'utilité ($n=56$, tableau 9.12a) et de risques liés à son utilisation ($n=32$). Les changements apportés à l'interface sont principalement motivés par des critères d'utilisabilité ($n=102$) et d'aménagement ($n=28$). La dimension opérationnelle est surtout

modifiée par rapport à des critères d'utilisabilité (n=7) et de risques potentiels liés à l'utilisation du système (n=6). Enfin, la dimension organisationnelle est amendée en vue des risques de l'utilisation du futur dispositif (n=9).

	Fonctionnelle	Interface	Opérationnelle	Organisationnelle
Aménagement	0	28	0	0
Risque	32	12	6	9
Technique	21	1	0	0
Utilisabilité	10	102	7	0
Utilité	56	9	0	3

(a) Effectifs observés.

	Fonctionnelle	Interface	Opérationnelle	Organisationnelle
Aménagement	-1	0,95	-1	-1
Risque	0,35	-0,6	1,32	2,76
Technique	1,37	-0,91	-1	-1
Utilisabilité	-0,79	0,67	0,34	-1
Utilité	1,05	-0,74	-1	0,09

(b) Taux de liaison.

TABLEAU 9.12 – CRITÈRES employés pour faire évoluer le cahier des charges selon la DIMENSION du système considérée.

il existe un lien fort entre la dimension du système et le critère employé pour le faire évoluer ($V2=0,23$). Ainsi, la dimension fonctionnelle évolue surtout par rapport à des critères techniques ($txl=+1,37$ voir tableau 9.12b), d'utilité ($txl=+1,05$) et de risques liés à l'utilisation du système ($txl=0,35$). L'interface est principalement modifiée pour des raisons d'aménagement ($txl=+0,95$) et d'utilisabilité ($txl=+0,67$). La dimension opérationnelle évolue davantage en fonction de critères de risques liés à l'utilisation du système ($txl=+1,32$) et d'utilisabilité ($txl=+0,34$). Enfin, la dimension organisationnelle évolue surtout vis-à-vis des risques liés à l'utilisation du système envisagé ($txl=+2,76$) et d'utilité ($txl=+0,09$)

9.3.2.8 Selon le type de point d'évolution, les acteurs n'agissent pas de la même manière sur la description du système

Les ajouts de nouveaux éléments et les modifications du cahier des charges interviennent surtout⁵ lors des séances de travail individuel de l'ergonome (respectivement n=5,58 ajouts et n=6,92 modifications par séance de travail, voir tableau 9.13a). Les suppressions ont surtout lieu lors des réunions avec les utilisateurs (n=17 suppressions par réunion).

5. Les résultats sont basés sur le nombre moyen d'évolutions par point d'évolution. Les effectifs bruts non moyennés et les taux de liaison basés sur ces effectifs sont disponibles en annexe I, p.181.

	Ajout	Modification	Suppression
Observations	3	1	2
Réunion avec utilisateurs	2,33	3,33	17
Réunion de conception	2,55	0,55	0,36
Réunion développement maquette	3	0,5	0,5
Séance de travail individuel	4,79	5,93	1,43

(a) Nombre moyen par POINT D'ÉVOLUTION.

	Ajout	Modification	Suppression
Aménagement	-1	1,9	-1
Risque	-0,65	-0,8	1,95
Technique	0,65	-0,47	-0,33
Utilisabilité	0,09	0,54	-0,81
Utilité	0,6	-0,87	0,25

(b) Taux de liaison.

TABLEAU 9.13 – ACTION d'évolution selon le type de POINT D'ÉVOLUTION considéré.

Globalement, la liaison entre le type de point d'évolution et les actions de transformation du cahier des charges est forte ($V2=0,23$). L'analyse des taux de liaison (tableau 9.13b) vient contraster les résultats de l'analyse des effectifs. Ainsi, de nouveaux éléments sont ajoutés à la description du système surtout pendant les observations ($txl=+0,49$), les réunions de conception ($txl=+1,2$) et les réunions de développement de la maquette ($txl=+1,2$). Les modifications des éléments du cahier des charges sont surtout apportées lors de séances de travail individuel de l'ergonome ($txl=+1$). Enfin, les suppressions d'éléments interviennent essentiellement lors des réunions avec les utilisateurs et les observations ($txl=+0,75$).

9.3.2.9 Les exigences sont davantage complétées, les spécifications plutôt modifiées

Quel que soit le niveau de description du système, après la diffusion de la première version du cahier des charges, des éléments y sont ajoutés, modifiés ou supprimés (tableau 9.14a).

	Ajout	Modification	Suppression
Exigence	21	2	8
Spécification	93	100	72

(a) Effectifs observés.

	Ajout	Modification	Suppression
Exigence	0,76	-0,81	-0,05
Spécification	-0,09	0,1	0,01

(b) Taux de liaison.

TABLEAU 9.14 – ACTION d'évolution selon le NIVEAU de description du système considéré

Cependant, il existe un lien intermédiaire entre le type d'action d'évolution réalisé et

le niveau de description du système impacté ($V2=0,05$). Les nouveaux éléments ajoutés après la première version du cahier des charges sont surtout des exigences ($txl=+0,76$, tableau 9.14b). Les éléments modifiés sont surtout des spécifications ($txl=+0,1$). Les suppressions concernent un peu moins les exigences que les spécifications ($txl=-0,05$ et $txl=+0,01$).

Ainsi, les exigences sont davantage complétées que les spécifications⁶. Ces dernières sont toutefois plus retouchées que les exigences.

9.3.3 Description univariée des demandes d'évolutions refusées

Après les évolutions acceptées, nous analysons les demandes refusées, qu'elles concernent des ajouts, des modifications ou de suppressions d'éléments du cahier des charges. Celles-ci seront analysées selon cinq variables : leur SOURCE, le type de POINT D'ÉVOLUTION lors duquel elles sont évoquées, l'ÉVALUATEUR qui les refuse, les CRITÈRES que celui-ci utilise pour les rejeter, et les DIMENSIONS du système sur lesquelles elles portent. Après une description de chacune des variables, nous analysons les liens entre celles-ci. Pour cela, une analyse en composantes multiples (ACM) est réalisée.

9.3.3.1 Les évolutions refusées proviennent moins de l'ergonome que des autres acteurs

Les évolutions proposées par les ingénieurs et les utilisateurs sont davantage refusées ($n=9$ et $n=8$, voir figure 9.11) que celles de l'ergonome ($n=4$). Ce dernier propose pourtant plus d'évolutions.

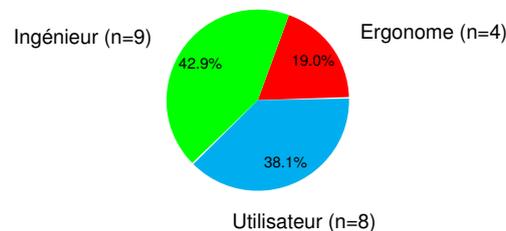


Figure 9.11 – SOURCE des évolutions refusées.

9.3.3.2 Un nombre plus élevé de demandes rejetées lors des réunions avec les utilisateurs et entre les concepteurs

Le nombre total de demandes d'évolution refusées est plus élevé lors des réunions de conception ($n=12$) et des réunions avec les utilisateurs ($n=8$). Cependant, en moyenne, il y a davantage de refus lors des réunions avec les utilisateurs ($moy=2,67$ voir figure 9.12) que lors des réunions de conception ($moy=1,09$). Il y a très peu de propositions d'évolutions refusées lors des observations ($moy=0,5$), et aucune lors des réunions de développement de la maquette, et des séances de travail individuel.

6. Même si des spécifications sont également ajoutées.

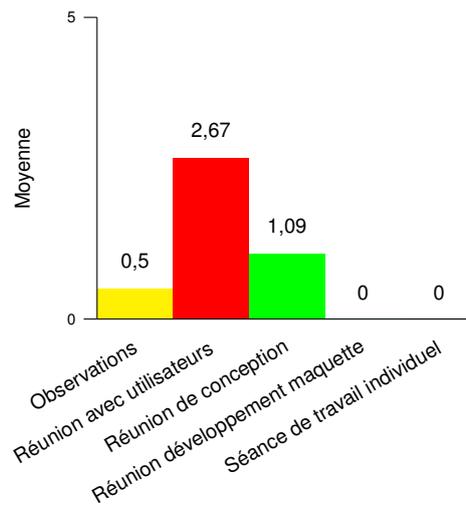


Figure 9.12 – Nombre moyen de propositions d'évolution refusées par type de POINT D'ÉVOLUTION.

Toutefois, l'analyse de la variabilité du nombre de demandes d'évolution ne confirme pas ce résultat (tableau 9.15). Par rapport à leurs moyennes respectives, la dispersion est très élevée lors des réunions avec les utilisateurs et des réunions de conception. Ainsi, il est difficile de les comparer. Si le nombre maximum de demandes refusées est plus important dans les réunions avec les utilisateurs qu'avec l'équipe de conception uniquement, la différence est trop faible pour conclure de manière catégorique. Néanmoins, par rapport aux autres points d'évolution, plus de demandes sont rejetées lors des réunions de conception et des réunions avec les utilisateurs. Ces réunions, comparées aux observations et aux réunions de développement sont l'occasion de débattre du futur système. Ainsi, il apparaît normal qu'un nombre plus important de refus d'évolutions y soient manifestés.

	N	Moyenne	Écart-type	Min.	Max.
Observations	1	0,5	0,71	0	1
Réunion avec utilisateurs	8	2,67	3,79	0	7
Réunion de conception	12	1,09	1,87	0	6
Réunion développement maquette	0	0	0	0	0
Séance de travail individuel	0	0	0	0	0

TABLEAU 9.15 – Nombre total, moyenne, écart-type, nombre minimum et maximum de demandes d'évolutions refusées par type de POINT D'ÉVOLUTION.

9.3.3.3 Seuls l'ergonome et les ingénieurs refusent des évolutions

Les demandes évolutions sont uniquement refusées par les ingénieurs (n=10, voir figure 9.13) et l'ergonome (n=11). Les utilisateurs, s'ils participent activement à améliorer le cahier des charges (en y ajoutant, modifiant et surtout supprimant des éléments), ne refusent pas les évolutions de celui-ci lorsqu'elles sont proposées lors des réunions de travail avec eux.

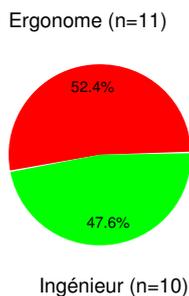


Figure 9.13 – ÉVALUATEUR des évolutions refusées.

9.3.3.4 Les évolutions sont surtout refusées sur des critères techniques et d'utilisabilité

Les critères techniques (n=11, voir figure 9.14), et l'utilisabilité (n=9) sont plus évoquées pour refuser des demandes d'évolutions. L'utilité est employée pour rejeter une seule proposition d'évolution. Les risques supposés de l'utilisation du système et l'aménagement de l'interface de celui-ci ne sont pas évoqués pour refuser des demandes d'évolutions.

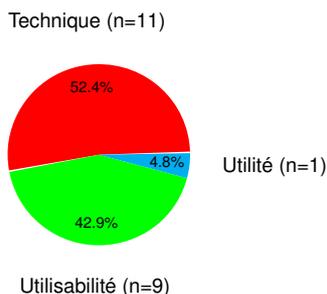


Figure 9.14 – CRITÈRES employés pour refuser les évolutions demandées.

9.3.3.5 Les évolutions refusées concernent surtout l'interface et les aspects fonctionnels du système

Enfin, la majorité des évolutions refusées concernent les aspects fonctionnels (n=12 soit 57,1%, voir figure 9.15) et l'interface (n=7 soit 33%) du futur système. Seules deux évolutions renvoyant aux aspects opérationnels du système ont été refusées (9,5%). Aucune évolution des aspects organisationnels et physiques n'a été rejetée.

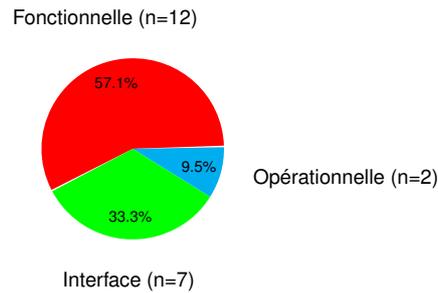


Figure 9.15 – DIMENSIONS du système sur lesquelles portent les évolutions refusées.

9.3.4 Analyse multivariée des propositions d'évolution refusées

Le faible écart entre les effectifs des modalités des variables décrivant les demandes d'évolutions refusées permet une analyse en composante multiple (Le Roux & Rouanet, 2004). Cette analyse est menée en deux temps. Premièrement, afin de dégager les variables importantes, nous analysons les liens entre toutes les variables étudiées. Puis, dans un deuxième temps, nous analysons les liens entre les modalités des variables sélectionnées à l'étape précédente.

9.3.4.1 Analyse des liens entre toutes les variables

L'analyse en composantes multiples sur les variables SOURCE, CRITÈRE, ÉVALUATEUR, POINT D'ÉVOLUTION et DIMENSION produit les résultats suivants⁷. Afin de conserver un taux d'inertie cumulé suffisant (tableau 9.16), nous analyserons les liens entre les variables sur les deux premiers axes⁸.

	Inertie	Taux d'inertie	Taux d'inertie cumulé
Axe 1	0,1227	68,9%	68,9%
Axe 2	0,0524	29,5%	98,4%
Axe 3	0,0017	1,0%	99,3%
Axe 4	0,0012	0,7%	100,0%

TABLEAU 9.16 – Inertie, taux d'inertie et taux d'inertie cumulé des quatre axes de l'analyse en composantes multiples sur les variables SOURCE, CRITÈRE, ÉVALUATEUR, POINT D'ÉVOLUTION et DIMENSION.

Lorsque deux variables sont proches, elles varient ensemble. Ainsi, si l'une varie, l'autre aussi. La figure 9.16 représente les liens entre toutes les variables analysées. Deux groupes peuvent être distingués sur cette représentation. D'un côté, les variables SOURCE et POINTS D'ÉVOLUTION sont proches et mieux représentées sur l'axe 2. De l'autre côté, les variables CRITÈRE, ÉVALUATEUR et DIMENSION sont proches et mieux représentées sur l'axe 1.

7. Les résultats complémentaires à ceux présentés sont disponibles en annexe J, p.182.

8. Suivant les recommandations de Le Roux & Rouanet (2004), nous avons utilisé le calcul de l'inertie modifié de Benzecri (1992, cité par Le Roux & Rouanet, 2004).

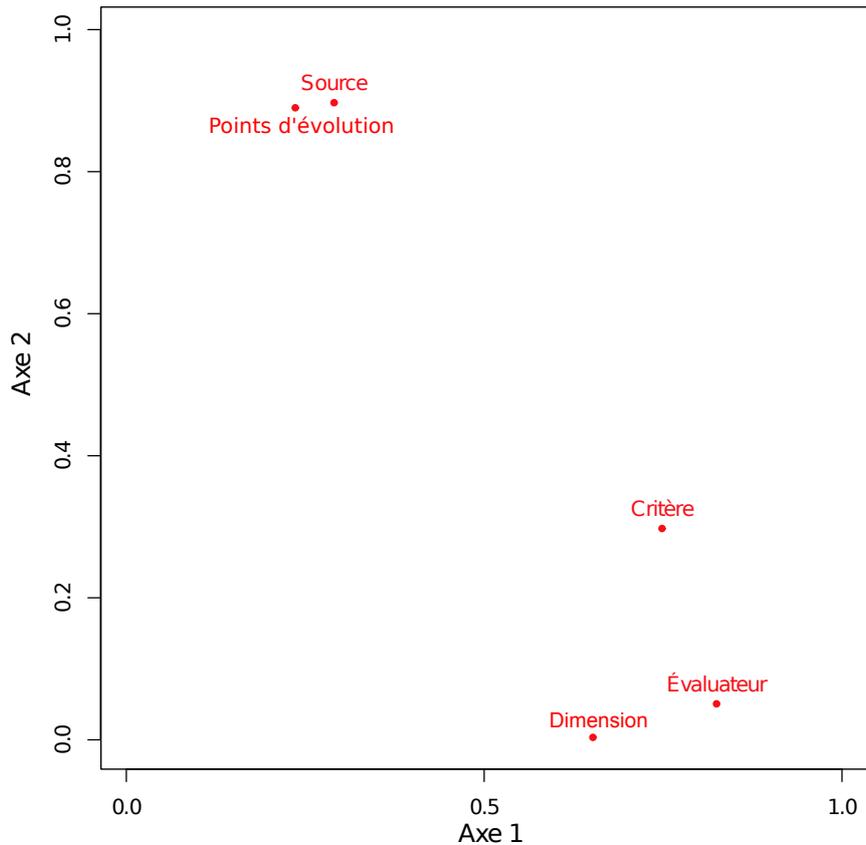


Figure 9.16 – Liens entre les variables SOURCE, CRITÈRE, ÉVALUATEUR, POINT D'ÉVOLUTION et DIMENSION sur les évolutions refusées.

Il est possible d'interpréter les liens entre variables de la manière suivante. La SOURCE des évolutions refusées varie avec le type de POINT D'ÉVOLUTION. Autrement dit, lorsque les acteurs d'APTS se font refuser leurs évolutions, ce rejet a lieu lors de points d'évolutions spécifiques pour chacun. Une analyse plus détaillée du croisement entre ces deux variables⁹ (voir tableau 9.17) montre que les évolutions refusées émises par l'ergonome et les ingénieurs le sont surtout pendant les réunions de conception. Celles des utilisateurs sont toujours refusées lors des réunions avec eux. Comme nous l'avons vu, les acteurs ne participent pas de manière identique à l'ensemble des séances de travail. Les ingénieurs font plutôt évoluer le cahier des charges lors des réunions de conception et les utilisateurs lors des réunions avec eux, c'est-à-dire lorsqu'ils sont présents ou que la séance leur est dédiée. Par conséquent, il semble logique que davantage d'évolutions qu'ils proposent soient rejetées dans ces mêmes points d'évolution. Les deux variables n'ont pas de lien de cause à effet. Ce n'est pas parce qu'un des acteurs propose une évolution lors d'un certain point d'évolution qu'elle est refusée. Par conséquent, pour simplifier l'analyse, nous retirons la variable POINT D'ÉVOLUTION de l'analyse détaillée des liens entre modalités.

9. Compte tenu de l'absence d'effectifs dans la moitié des croisements des modalités, l'analyse des taux de liaison n'est pas indiquée.

	Ergonome	Ingénieur	Utilisateur
Observations	1	0	0
Réunion avec utilisateurs	0	0	8
Réunion de conception	3	9	0

TABLEAU 9.17 – SOURCE des évolutions refusées selon le type de POINT D'ÉVOLUTION (en nombre).

Par ailleurs la figure 9.16 indique que les variables CRITÈRE, DIMENSION et ÉVALUATEUR varient en même temps. Il semble que les évaluateurs ont des dimensions et des critères privilégiés. La liaison entre ces variables est cependant moins forte que celle entre source et points d'évolution. Par conséquent, aucune de ces variables n'est retirée de l'analyse des liens entre modalités.

9.3.4.2 Analyse des liens entre les variables source, critère, évaluateur et dimension

L'analyse en composante multiple sur les variables SOURCE, CRITÈRE, ÉVALUATEUR ET DIMENSION produit les résultats suivants. Compte tenu de son inertie¹⁰, garder seulement le premier axe aurait été suffisant (tableau 9.18). Cependant, l'analyse des deux premiers axes ayant plus de sens, nous conserverons les deux pour le reste de l'analyse.

	Inertie	Taux d'inertie	Taux d'inertie cumulé
Axe 1	0,161	94,04%	94,04%
Axe 2	0,009	5,27%	99,31%
Axe 3	0,0012	0,69%	100,0%

TABLEAU 9.18 – Inertie, taux d'inertie et taux d'inertie cumulés des quatre axes de l'ACM sur les variables SOURCE, CRITÈRE, ÉVALUATEUR, POINT D'ÉVOLUTION et DIMENSION.

La projection des modalités des variables SOURCE, CRITÈRE, ÉVALUATEUR ET DIMENSION sur les deux premiers axes est présentée en figure 9.17. Les coordonnées des modalités sur ces deux axes sont disponibles en annexe K (p.184). Les distances entre les modalités peuvent être interprétées comme une image de la force des liens entre celles-ci.

¹⁰. Nous avons utilisé le calcul de l'inertie modifié de Benzecri (1992, cité par Le Roux et Rouanet, 2004)

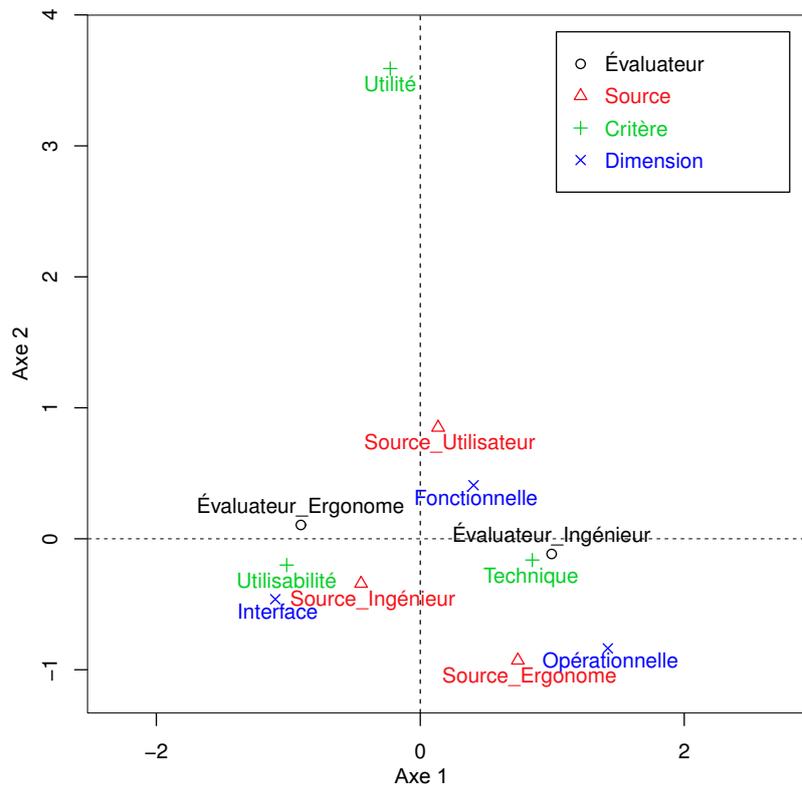


Figure 9.17 – Représentation graphique des deux premiers axes de l'ACM sur les variables CRITÈRE, ÉVALUATEUR, SOURCE, et DIMENSION.

Pour quantifier ces distances et regrouper les modalités proches, nous avons réalisé une classification ascendante hiérarchique. Cette analyse permet de regrouper les modalités des variables selon leur distance. Celle-ci est calculée à partir des coordonnées des modalités sur le plan formé par les deux axes retenus pour l'ACM. Ainsi, les modalités des variables seront classées et regroupées en fonction de la distance les séparant¹¹. Les résultats de cette analyse sont représentés sous la forme d'un arbre (figure 9.18). L'arbre hiérarchique indique la possibilité de former trois groupes dont les éléments sont proches¹². Néanmoins, l'utilité formant un groupe à elle seule, nous n'analyserons pas cette modalité. Ceci peut être expliqué par la faible occurrence de ce critère pour refuser une proposition d'évolution (n=1).

11. Les distances euclidiennes entre les modalités sont classées par la méthode de Ward.

12. En effet, il est possible d'observer une « cassure » après le partage de l'arbre en trois branches.

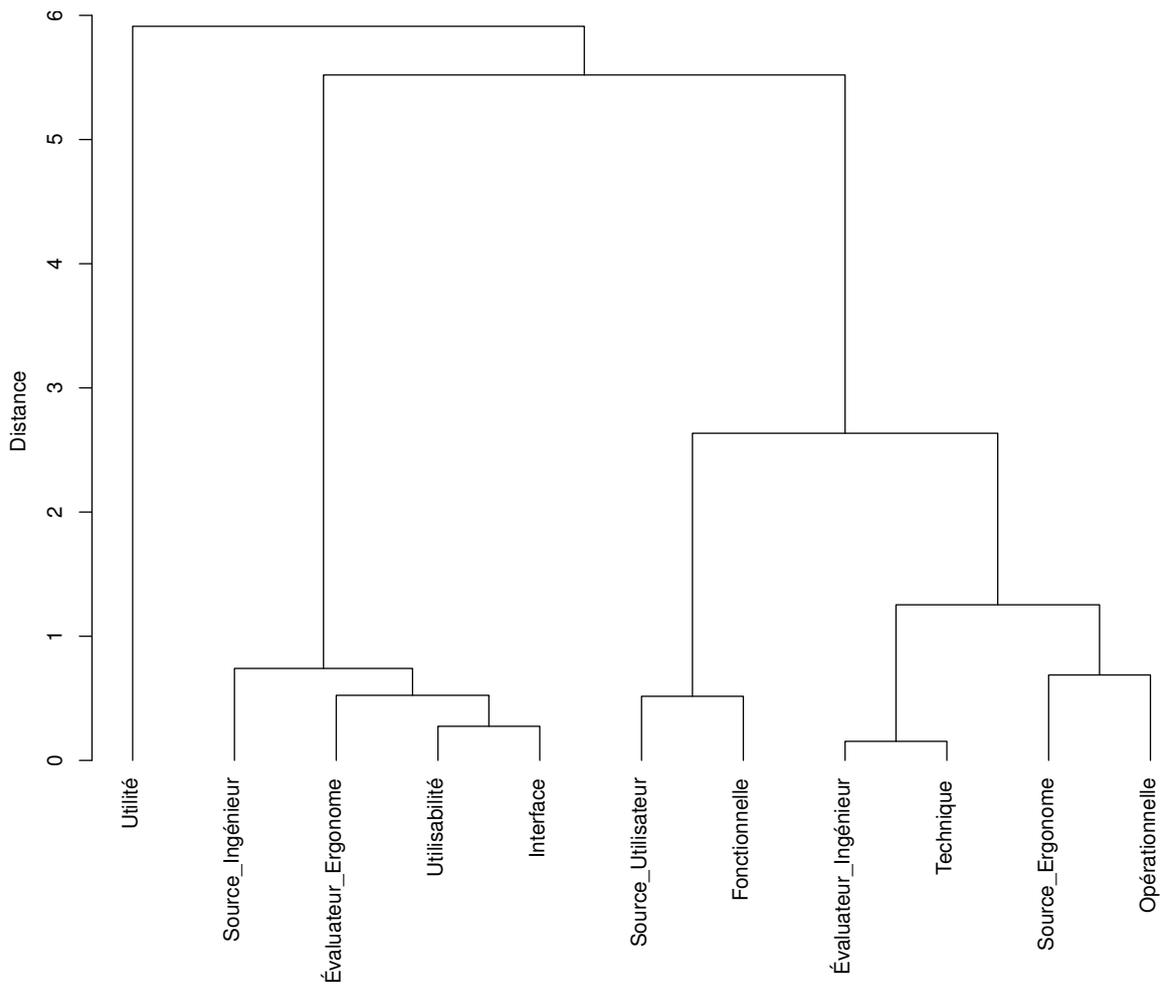


Figure 9.18 – Représentation graphique de la classification ascendante hiérarchique des modalités des variables CRITÈRES, SOURCE et ÉVALUATEURS.

La classification ascendante hiérarchique indique que les propositions d'évolutions rejetées par les ingénieurs proviennent plutôt de l'ergonome et des utilisateurs, car elles ne sont pas réalisables. Les évolutions proposées par les utilisateurs renvoient plutôt aux aspects fonctionnels du système. Les évolutions refusées à l'ergonome font surtout référence aux aspects opérationnels du système. Autrement dit, les utilisateurs se voient refuser des évolutions fonctionnelles par les ingénieurs car elles ne sont pas techniquement réalisables. Les évolutions des aspects opérationnels sont refusées à l'ergonome pour les mêmes raisons.

Les propositions rejetées par l'ergonome concernent surtout l'interface, et sont plutôt émises par les ingénieurs ou les utilisateurs. Ces évolutions sont refusées car elles sont jugées non utilisables par l'ergonome.

Pour conclure, il semble que le rejet d'une évolution est davantage lié au contenu de la proposition, la dimension à laquelle elle fait référence, plutôt qu'à sa source ou à son évaluateur. Premièrement, l'ingénieur et l'ergonome s'appuient sur des critères similaires pour demander ou refuser une évolution. Deuxièmement, les différents acteurs refusent

plutôt les évolutions concernant les dimensions du système qu'ils participent eux-mêmes à faire évoluer. Par exemple, l'ergonome évalue négativement surtout les demandes d'évolution d'interface, c'est-à-dire une des dimensions sur laquelle il focalise son travail.

9.4 Synthèse et conclusion

En conclusion, la présente étude indique deux résultats notables. D'une part, les expertises des ingénieurs, des utilisateurs et de l'ergonome se complètent et portent sur des domaines spécifiques du système. D'autre part, l'alternance entre les contributions des différents acteurs semble être un des moteurs importants de l'évolution du cahier des charges. Cette section détaille les arguments et résultats indiquant ces conclusions. Nous terminons en proposant une synthèse des rôles de chacun des acteurs dans l'évolution du cahier des charges.

9.4.1 Ingénieurs, utilisateurs et ergonome ont un domaine d'expertise spécifique et relatif à des dimensions particulières

Les résultats indiquent que les différents acteurs ont un domaine d'expertise spécifique et relatif à des dimensions particulières du système.

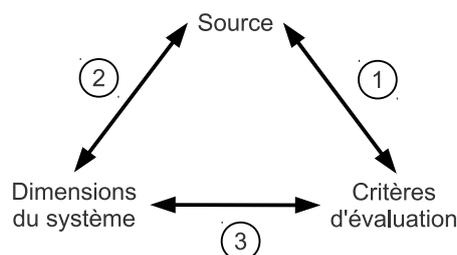


Figure 9.19 – Représentation des liens entre SOURCES, CRITÈRES et DIMENSIONS des évolutions. La numérotation des liens renvoie aux numéros de la liste ci-dessous.

Plus spécifiquement, cette conclusion provient de l'analyse des liens entre les sources des évolutions, les critères utilisés et les dimensions du système sur lesquelles elles portent (figure 9.19) :

1. Que ce soit pour évaluer le cahier des charges actuel ou les propositions alternatives soumises par d'autres, les acteurs s'appuient sur des critères spécifiques. Par exemple, l'ergonome s'appuie principalement sur des critères d'utilisabilité ou d'utilité pour faire évoluer le (ou refuser l'évolution du) système. Les ingénieurs emploient essentiellement des critères techniques. Il s'agit d'une caractéristique des activités de conception pluridisciplinaire. Les acteurs jugent les changements apportés à une solution par rapport à leur propre point de vue sur l'objet en conception (Bucciarelli, 2002). Ces différences de point de vue se traduisent par l'usage de critères différents pour évaluer la solution ou l'alternative proposée (Bonnardel, 1999). D'après Détienne et al. (2005) le point de vue est une combinaison spécifique des représentations dont les concepteurs disposent sur les contraintes inhérentes à leur

discipline ou domaine d'expertise. D'une certaine manière, le point de vue est le reflet de l'expertise des acteurs. Les critères exprimés sont donc liés à leurs domaines d'expertise respectifs. Ainsi, les résultats indiquent que l'expertise de l'ergonome, des ingénieurs et des utilisateurs est spécifique et complémentaire.

2. Par ailleurs, les acteurs font plutôt évoluer (ou refuser les évolutions de) certaines dimensions du système. Par exemple, par rapport aux autres acteurs, l'ergonome apporte davantage de changements à l'interface et aux fonctions du système. Les utilisateurs font surtout évoluer ses aspects fonctionnels, opérationnels et organisationnels. Des résultats similaires sont retrouvés dans les deux premières études empiriques de la thèse.
3. Enfin, notre étude montre un lien fort entre les critères et les dimensions du système auxquelles les évolutions font références. Par exemple, pour faire évoluer les aspects fonctionnels, opérationnels et organisationnels du système, les principaux critères utilisés renvoient aux risques liés à l'utilisation du système.

Par conséquent, il semble que le domaine d'expertise des acteurs s'applique à des dimensions spécifiques du système (figure 9.19). L'ergonome a plutôt une expertise concernant l'utilisabilité des interfaces, et l'utilité potentielle des fonctions. Les ingénieurs disposent d'une expertise sur les aspects techniques des fonctions du système. Enfin, l'expertise des utilisateurs leur permet de se projeter dans l'usage futur du système pour évaluer les risques potentiels de certaines fonctionnalités, éléments organisationnels ou opérationnels proposés par les concepteurs. Ainsi, il apparaît que l'ergonome, l'ingénieur et les utilisateurs ont une expertise complémentaire sur les dimensions du système en conception.

9.4.2 L'alternance entre contributions des utilisateurs et des co-concepteurs comme moteur de l'évolution du système

Les résultats indiquent que l'alternance entre les réunions avec les utilisateurs et les séances de travail des co-concepteurs (ergonome et ingénieurs) constituent un moteur important de l'évolution du cahier des charges.

Les acteurs n'agissent pas de la même manière sur le cahier des charges. L'ergonome a plutôt tendance à ajouter de nouveaux éléments et à modifier les éléments actuels, surtout ceux relatifs à l'interface du système. Les ingénieurs complètent également le cahier des charges par l'ajout de nouveaux éléments. Par contre, les utilisateurs vont davantage en supprimer. Ces résultats dessinent des contributions très différentes aux acteurs. D'un côté, l'ergonome et les ingénieurs proposent, à travers le cahier des charges, un système avec une interface et des fonctionnalités. De l'autre côté, les utilisateurs vont supprimer certains de ces éléments. Autrement dit, les utilisateurs « filtrent » ou « corrigent » les propositions de l'équipe de conception et gardent uniquement les éléments pertinents.

De plus, l'ergonome et les ingénieurs font davantage évoluer les spécifications que les exigences. A contrario, les utilisateurs font plutôt progresser les exigences. D'un point de vue cognitif, les utilisateurs construisent le problème, alors que les ingénieurs et l'ergonome se chargent d'améliorer la solution en conséquence. Dans un mouvement itératif, le développement de nouvelles solutions conduit alors à une meilleure compréhension du problème, et ainsi de suite.

Ces deux résultats peuvent s'expliquer par la posture respective des utilisateurs et de

l'ergonome dans le projet APTS. Contrairement aux utilisateurs, l'ergonome possède le statut de co-concepteur (cf. étude 2, section 8.4.2). Les utilisateurs sont consultés afin de recueillir leurs avis et suggestions sur les versions successives du cahier des charges (degré 3 de la participation des utilisateurs selon Darses & Reuzeau, 2004). Dans cette position, ils ont peu complété ou apporté de changements à la solution produite par les concepteurs. Ils ont plutôt réorienté la solution en reformulant et en approfondissant le problème que les concepteurs cherchent à résoudre. Autrement dit, pour intervenir sur la solution tout en n'ayant pas le statut de co-concepteurs, les utilisateurs ont fait progresser la compréhension du problème. Ainsi, plus concrètement, les utilisateurs sont plutôt intervenus (1) en supprimant les spécifications proposées par l'ergonome et les ingénieurs, et (2) en faisant évoluer les exigences contraignant les spécifications. Par conséquent, lorsque l'ergonome, contrairement aux utilisateurs, possède le statut de co-concepteur, il convient d'articuler leurs contributions respectives et d'organiser leur participation au processus d'analyse des besoins.

Dans APTS cette articulation s'est traduite par l'alternance entre, d'une part, les réunions avec les utilisateurs, et d'autre part, les séances de travail individuel de l'ergonome et les réunions de conception. Alors que, lors des premières, les utilisateurs suppriment des exigences, dans les secondes, les co-concepteurs font évoluer les spécifications en conséquence, soit en ajoutant, modifiant ou supprimant des spécifications du cahier des charges.

Ainsi, lorsque l'ergonome est en position de co-concepteur, il apparait nécessaire (1) de faire participer les utilisateurs, et (2) d'alterner les réunions où ils peuvent exprimer leur point de vue avec des séances de travail individuel ou collectif avec les autres concepteurs.

9.4.3 Rôles des acteurs dans l'évolution du cahier des charges

Pour résumer, nos résultats indiquent des rôles très distincts et complémentaires de l'ergonome, des ingénieurs et des utilisateurs quant à l'évolution de la première version du cahier des charges (tableau 9.19).

Par rapport aux autres, l'ergonome a plutôt tendance à ajouter et modifier des éléments relatifs aux spécifications de l'interface et à la dimension organisationnelle du système en conception. Ces évolutions ont surtout lieu pendant ses séances de travail individuel et les observations sur le terrain. Il emploie principalement des critères relatifs à l'aménagement du système, d'utilisabilité et d'utilité.

Les ingénieurs ont tendance à ajouter des spécifications au cahier des charges. Ces éléments font plutôt référence à la dimension fonctionnelle du futur système. Les ingénieurs font surtout évoluer le cahier des charges pendant les réunions de conception et les réunions de développement. Enfin, ils utilisent principalement des critères techniques pour motiver les évolutions qu'ils proposent.

	Ergonome	Ingénieurs	Utilisateurs
Point d'évolution	– Séances de travail individuel – Observations	– Réunions de conception – Réunions de développement	Réunions avec les utilisateurs
Critère	– Utilisabilité – Utilité – Aménagement	Technique	Risque
Action	– Ajouter – Modifier	Ajouter	Supprimer
Dimension	– Interaction – Organisationnelle	Fonctionnelle	– Opérationnelle – Organisationnelle – Fonctionnelle
Niveau	Spécifications	Spécifications	Exigences

TABLEAU 9.19 – Résumé des rôles des acteurs lors de l'évolution du cahier des charges depuis sa version initiale jusqu'à sa version finale.

Enfin, en comparaison des ingénieurs et de l'ergonome, les utilisateurs vont surtout supprimer des éléments fonctionnels, opérationnels ou organisationnels du cahier des charges. Ces évolutions concernent surtout des exigences. Elles ont plutôt lieu lors des réunions avec eux. Ils évoquent principalement les risques supposés de l'utilisation du futur système pour justifier ces suppressions.

9.5 Limites

Cette étude possède deux principales limites. Premièrement, l'évolution du cahier des charges est analysée après la diffusion de sa première version. L'évolution vers celle-ci et le rôle des acteurs associés n'est donc pas abordée. Ainsi, nous n'avons pas analysé l'évolution du cahier des charges tout au long de l'analyse des besoins. Une telle étude, bien que souhaitable, n'était pas possible. Nous ne disposions pas des éléments nécessaires à une telle analyse. En effet, le sujet et la thématique de la thèse ayant largement évolué au cours de celle-ci, au moment de cette réorientation, la première version du cahier des charges venait juste d'être rédigée par l'ergonome. Toutefois, des éléments du rôle de ce dernier ainsi que celui des utilisateurs et des ingénieurs apparaissent dans l'analyse de notre participation en tant qu'ergonome (section 5.2, p.61).

Deuxièmement, l'étude est focalisée sur les aspects liés à l'utilisation et à l'usage du futur système contenu dans le cahier des charges. Or, celui-ci contient tous les éléments permettant de faire fonctionner le système d'un point de vue technique. Une étude de ces aspects aurait permis une analyse plus large de l'évolution du cahier des charges. Cependant, ces éléments étant du ressort des ingénieurs du projet, nous n'avons pas pu recueillir l'ensemble des informations nécessaires à une telle analyse. De plus, la thèse vise à comprendre les contributions de l'ergonome à l'analyse des besoins. Une analyse plus détaillée du rôle des ingénieurs dépasse le cadre de nos travaux.

Chapitre 10

Conclusion et perspectives

L'objectif de nos travaux de thèse est d'apporter des connaissances sur l'intervention des ergonomes en tant que co-concepteurs à l'analyse des besoins. Dans ce dernier chapitre, nous rappelons l'ensemble des résultats de nos études empiriques et analysons de manière critique le statut de co-concepteur. Puis, en regard de ces éléments, nous proposons les préceptes d'une méthode d'intervention ergonomique de co-conception en analyse des besoins. Enfin, nous présentons les perspectives de nos travaux.

10.1 L'ergonome co-concepteur, intermédiaire entre les utilisateurs et les ingénieurs

L'ergonome peut participer à différents niveaux de l'analyse des besoins. Il peut contribuer à la formalisation des exigences (Daniellou & Naël, 1995; Daniellou, 2004; Garrigou et al., 2001; Lamonde, 2000) et des spécifications (Burns & Vicente, 2000; Chapanis, 1996; Février-Quesada et al., 2003; Maguire, 1998) sur diverses dimensions du système : fonctionnelle, organisationnelle et sur l'interaction (Anastassova, 2006; Burkhardt & Sperandio, 2004; Chapanis, 1996). Cependant, nos travaux mettent en lumière que, selon le niveau de description (exigences vs. spécifications), l'ergonome ne participe pas à définir les mêmes dimensions du système, et ne collabore pas avec les mêmes acteurs.

Au niveau des exigences, il a collaboré avec les utilisateurs à la définition et à l'évolution des exigences générales du système concernant les grandes fonctions (buts généraux de l'utilisation du système) et ses aspects opérationnels (les conditions d'usage). Par rapport à l'ergonome, les utilisateurs formulent leurs exigences plutôt de manière négative (par exemple, « le système ne doit pas... ») que positive. Par contre, l'ergonome a caractérisé seul les orientations générales de l'interface, les aspects organisationnels. Au niveau des fonctions, il a traduit ces orientations en exigences fonctionnelles plus concrètes¹. De leur côté, les ingénieurs se sont focalisés sur les aspects physiques décrivant les composants nécessaires au fonctionnement et les performances techniques du système. Ainsi, dans la définition des exigences, l'ergonome a davantage collaboré avec les utilisateurs qu'avec les ingénieurs.

Concernant les spécifications et leur évolution, l'ergonome s'est focalisé sur l'interface et

1. Celles-ci ont toutefois été validées par les utilisateurs.

les conditions d'usage du système. Il a également collaboré avec les ingénieurs dans la définition précise des fonctions du système. Si nos résultats confirment la participation des ergonomes à la définition des fonctions utilisateurs (Chapanis, 1996; Diaper, 2004; Maguire, 1998), ils permettent de préciser cette notion. En effet, l'ergonome s'est chargé de définir (1) les buts des fonctions, (2) ce que les utilisateurs entrent dans le système (les entrées manuelles), (3) les informations auxquelles ils ont accès à travers l'interface (les sorties utilisateurs), et (4) les éléments leur permettant de contrôler le fonctionnement du système (contraintes utilisateurs). Les ingénieurs ont spécifié la « partie technique » des fonctions, c'est-à-dire les éléments fonctionnels permettant de faire fonctionner la partie utilisateur : les entrées automatiques, les sorties internes, les ressources et les contraintes techniques. Ces éléments ne sont ni accessibles ni manipulables par les utilisateurs. Il existe une interdépendance forte entre la partie technique et la partie utilisateur des fonctions, d'où la nécessité d'une collaboration étroite entre l'ergonome et les ingénieurs. En effet, certaines fonctions proposées par l'ergonome ne sont pas forcément réalisables techniquement, et en contrepartie, celles-ci vont façonner le fonctionnement technique du système. Les ingénieurs doivent les prendre en compte pour produire des spécifications techniques adaptées. Ainsi, contrairement aux exigences, l'ergonome a surtout travaillé avec les ingénieurs pour définir ses spécifications.

En considérant le processus d'analyse des besoins comme une activité de conception (au sens de la psychologie ergonomique, voir Darses, 2009 ou Visser, 2004), les exigences constituent le problème à résoudre, et les spécifications représentent la solution. De ce point de vue, en posture de co-concepteur, l'ergonome participe, avec les utilisateurs, à la définition du problème, et, avec les ingénieurs, il construit la solution correspondante. De cette manière, il a une position charnière facilitant la compréhension du problème et sa résolution à travers la définition d'une solution pertinente et adaptée.

Cependant, le rôle des utilisateurs n'est, peut-être, pas la seule conséquence du statut de l'ergonome. Dans APTS, en raison des difficultés de les intégrer davantage dans le processus de conception, les utilisateurs n'ont pu avoir cette position. Néanmoins, ils ont été consultés en vue de recueillir leurs suggestions et avis sur le système en conception (degré 3 de la participation selon Darses & Reuzeau, 2004). Ainsi, seuls les co-concepteurs (l'ergonome et les ingénieurs) ont participé aux spécifications.

La participation des utilisateurs n'en est pas moins décisive. En effet, la dimension fonctionnelle d'un système est déterminante. Elle participe fortement à en définir l'utilité. Ainsi, elle a un impact sur le système dans son ensemble. En collaborant avec l'ergonome pour définir les orientations générales des fonctions, les utilisateurs ont donc une place de choix dans le processus d'analyse des besoins. Comme nous l'avons vu, la plupart des fonctions du système sont dérivées de ces orientations générales. Les remettre en cause tardivement implique des modifications profondes du système, et, par conséquent, des coûts importants (Beevis, 2003; Hendrick, 2003). Ces résultats confirment que les utilisateurs doivent être intégrés le plus tôt possible à l'analyse des besoins, et qu'ils doivent pouvoir participer à définir le problème à résoudre par les concepteurs.

10.2 Sources de connaissances utilisées par l'ergonome

Selon la littérature, l'ergonome justifie ses propositions soit par les éléments recueillis sur le terrain, soit par ses connaissances propres (Daniellou & Naël, 1995; Daniellou, 2004; Lamonde, 2004). Les résultats de nos études apportent des précisions. Selon la dimension du système et le niveau de description considéré, l'ergonome a invoqué différentes sources de connaissances pour justifier ses propositions (figure 10.1).

	Exigences	Spécifications
Fonctionnelle	Terrain	
Organisationnelle		
Opérationnelle	Expertise	
Interaction		

Figure 10.1 – Source des justifications employées par l'ergonome selon la dimension et le niveau de description du système.

Au niveau des exigences et des spécifications, l'ergonome s'est principalement appuyé sur les connaissances acquises lors de ses analyses de terrain pour justifier la plupart des aspects fonctionnels, et organisationnels du système. Ces derniers sont notamment issus des contraintes de l'organisation dans laquelle s'insérera le système. Les fonctions s'inspirent largement des limites du système humain-machine actuel identifiées lors des analyses de terrain et du REX. D'ailleurs, par rapport aux autres acteurs, il semble mieux placé pour identifier les difficultés liées à ces limites, les stratégies des opérateurs à préserver et celles à fiabiliser. Cependant, certaines fonctions sont également justifiées par l'expertise de l'ergonome, et sont notamment inspirées de connaissances issues de la littérature scientifique sur des situations analogues. Par exemple, la fonction principale du système est motivée par l'utilité qu'elle a montrée dans le pilotage d'avion et de cargos.

Les grandes orientations (exigences générales) de l'interaction et les aspects opérationnels du système sont surtout basés sur des éléments du terrain. A contrario, les spécifications de ces dimensions sont davantage fondées sur l'expertise de l'ergonome (figure 10.1). Ainsi, il semble que les analyses de terrain fournissent les éléments pour déterminer ce que devra faire le système (exigences fonctionnelles) et notamment ce qu'il doit afficher (spécifications des sorties des fonctions). Par contre, ces analyses ne permettent pas à l'ergonome de spécifier la manière dont ces informations sont affichées (topographie des informations sur l'interface, type de représentation, couleurs, taille, etc.). Pour cela, l'ergonome se réfère plutôt à ses connaissances sur l'interaction humain-machine issues de la littérature (par exemple, Bastien & Scapin, 1993), de normes (par exemple, ISO 9241, 2001) ou de recueils de recommandations ergonomiques (par exemple, Smith & Mosier, 1986) ou de son expertise propre.

Ainsi, les connaissances acquises par l'analyse des situations de travail ne sont pas suffisantes à l'ergonome co-concepteur. Bien que déterminantes pour son intervention, l'ergonome ne peut s'appuyer uniquement sur elles. Cet aspect est parfois négligé dans la littérature à ce sujet. Par exemple, pour Maguire & Bevan (2002) ou Chapanis (1996), les exigences et les spécifications sont principalement basées sur des analyses de terrain.

Nos résultats mettent donc en avant l'importance de la formation disciplinaire de l'ergonome. Si les compétences en analyse de l'activité sont essentielles, les connaissances théoriques acquises au cours de la formation sont également cruciales. De plus, d'autres études montrent que les concepteurs non ergonomes de formation rencontrent des difficultés dans l'utilisation des connaissances théoriques produites et utilisées en ergonomie (Burns & Vicente, 1996; Haslegrave & Holmes, 1994; Wulff et al., 1994, 1999b). Ainsi, la présence de l'ergonome semble déterminante. D'une part, grâce aux techniques spécifiques employées, il peut identifier les stratégies et les difficultés souvent non conscientes des opérateurs. D'autre part, il mobilise des connaissances peu accessibles et utilisables par les autres concepteurs.

10.3 L'alternance des contributions et l'articulation des points de vue dans l'évolution du système

Les différents acteurs ne font pas évoluer le cahier des charges de manière identique. L'ergonome va plutôt ajouter de nouveaux éléments au fur et à mesure ou apporter des modifications au système, notamment à son interface ou à ses fonctions. Pour faire évoluer le système, les ingénieurs ont également tendance à ajouter des éléments fonctionnels. Par contre, les utilisateurs vont surtout supprimer certains éléments, notamment certaines fonctions. Cette différence de contribution peut s'expliquer par leur position dans le projet. Les utilisateurs n'étant pas co-concepteurs, les ingénieurs et l'ergonome leur ont présenté, à intervalle régulier, l'avancement de leurs travaux concernant le système. Dans cette position, les utilisateurs ont plutôt réorienté la solution en reformulant et en approfondissant le problème à résoudre par les concepteurs. De cette manière, alterner les contributions respectives des utilisateurs, des ingénieurs et de l'ergonome semble indispensable pour rendre le système conforme aux attentes des utilisateurs.

Par ailleurs, pour faire évoluer le cahier des charges, les utilisateurs, les ingénieurs et l'ergonome mobilisent des domaines d'expertise différents. Ayant des formations disciplinaires, des compétences et des expériences singulières, ils ont nécessairement un point de vue singulier sur le système (Bucciarelli, 2002). Cependant, notre étude montre que celui-ci est complémentaire. Concernant l'évolution de l'interface et les fonctions, l'ergonome va s'appuyer sur des critères d'utilisabilité et d'utilité du système. Notre étude confirme donc la littérature à ce sujet (Bastien & Scapin, 2004; Burns & Vicente, 2000). Les ingénieurs s'appuient principalement sur des critères techniques pour faire évoluer les aspects fonctionnels du système. Enfin, les utilisateurs évoquent surtout les risques liés à l'utilisation du système décrit dans le cahier des charges pour apporter des changements à celui-ci, notamment en supprimant les fonctions ou éléments relatifs à l'organisation prévue². Ainsi, les divers acteurs font évoluer des dimensions du système distinctes en s'appuyant sur des critères spécifiques.

Pour arriver à un consensus, il y a nécessité d'articuler les points de vue de différents

2. Il faut cependant préciser que, tant qu'aucune évaluation du système en situation n'a été réalisée, les acteurs s'appuient sur leur représentation pour proposer des solutions alternatives (Loup-Escande, 2010). Par exemple, l'ergonome va proposer la modification d'une partie de l'interface car il suppose sa solution plus utilisable. De la même manière, les utilisateurs vont supprimer des fonctions du système car ils supposent que leur utilisation en situation réelle générera un risque. Cependant, ni l'ergonome ni les utilisateurs n'ont de preuves avant l'évaluation du système en situation.

acteurs (Darses, 2009). Dans APTS, cette articulation est réalisée à travers leur confrontation dans les séances de travail réunissant l'ergonome, les ingénieurs et les utilisateurs. Ainsi, si l'alternance des contributions est nécessaire, l'articulation et la confrontation des points de vue sont également indispensables. Ces moteurs de l'évolution du système semblent d'autant plus importants que les utilisateurs n'ont pas le statut de co-concepteur.

Nos études empiriques indiquent donc une forte complémentarité des différents acteurs du projet APTS. Chacun apporte une particularité propre à l'évolution du système, que ce soit dans la formulation des exigences, des spécifications ou dans leur évolution.

10.4 Avantages et limites de la position de co-concepteur

Pour conclure, la posture de co-concepteur a permis à l'ergonome de contribuer largement à l'analyse des besoins et d'assurer une intégration efficace de l'ergonomie. Contrairement à une approche d'assistance à la MOA, l'ergonome est directement intervenu auprès des autres concepteurs dans la définition des solutions (spécifications). De cette manière, il dispose d'un rôle charnière dans la conception. Avec les autres concepteurs, il a pu contrôler finement la réponse apportée aux problèmes qu'il a identifiés en collaboration avec les utilisateurs.

10.4.1 Limites du statut d'ergonome co-concepteur

Tenir uniquement le rôle de co-concepteur ne semble pas suffisant. Le risque de se restreindre à cette position est triple.

Premièrement, l'ergonome doit mettre en place les conditions de la confrontation des points de vue des parties prenantes. Par exemple, il peut organiser des réunions régulières entre les concepteurs³ et les représentants des futurs utilisateurs. Comme nous l'avons vu, dans APTS, la participation de ces derniers a d'ailleurs été déterminante dans la conception. D'une part, ces réunions ont contribué à l'évolution du système vers une meilleure prise en compte des attentes des utilisateurs. D'autre part, elles ont permis à l'ergonome de valider un certain nombre de spécifications. De cette manière, la participation des autres concepteurs à ces réunions permet également à l'ergonome de donner du poids à ses propositions et de légitimer son action, sa place et son statut dans le projet.

Deuxièmement, en se cantonnant au rôle de co-concepteur, l'ergonome risque de se focaliser sur la conception de la machine et ne pas intervenir sur les conditions de travail dans leur ensemble. Or, considérer globalement la situation de travail est un des atouts et une des particularités de l'ergonomie (Daniellou, 2004). Répondre de manière globale aux problèmes identifiés nécessite généralement de ne pas se restreindre à la co-conception de la solution technologique. Pour cela, l'ergonome doit notamment élargir les objectifs initiaux du projet (Daniellou, 2004; Garrigou et al., 2001; Tran Van et al., 2008). Par exemple, dans APTS, l'ergonome a identifié un besoin relatif à la formation de certains opérateurs à la conduite d'une phase d'exploitation spéciale du réacteur. Grâce aux rela-

3. L'ergonome compris.

tions nouées avec l'animateur du *GT conduite*⁴, l'ergonome a réussi à faire intégrer ladite formation dans le plan national de formation des opérateurs d'EDF. Ainsi, l'ergonome a élargi son périmètre d'action au-delà du système technique conçu, et a traité plus en profondeur les problèmes identifiés en influençant plus largement les conditions de travail des futurs utilisateurs.

Enfin, dans le cadre de la conception de grands systèmes complexes, le risque du statut de co-concepteur est ne pas pouvoir appréhender les liens entre le sous-système auquel l'ergonome participe et les autres sous-systèmes (Burns & Vicente, 2000). Contrairement à la MOA, l'ergonome co-concepteur peut difficilement avoir une vue du système dans son ensemble. En restant dans cette posture, il semble alors nécessaire que les ergonomes intervenant dans la conception des sous-systèmes coordonnent leurs actions.

10.4.2 Avantage du statut d'ergonome co-concepteur

Cependant, le statut de co-concepteur présente des avantages certains. Dans une position d'assistance à la MOA, l'ergonome contribue à la définition du problème à résoudre. Cette participation se traduit notamment par la formulation d'exigences, sans prendre part à la définition des spécifications. Ainsi, dans cette posture, l'ergonome dispose de moins de contrôle sur la réponse apportée au problème. Le risque est alors double. D'une part, certaines exigences ne seront peut-être pas prises en compte (Wulff et al., 1999b). D'autre part, la réponse apportée par les concepteurs ne sera pas nécessairement adaptée au problème posé. Comme dans toute activité de conception, il existe une multitude de solutions possibles. Si les exigences formulées ne sont pas suffisamment précises, les solutions apportées ne répondront pas nécessairement de manière satisfaisante aux attentes des utilisateurs, notamment sur le plan ergonomique (Wulff et al., 1994). En l'absence de critères précis d'évaluation des spécifications, l'ergonome assistant la MOA n'aura pas nécessairement le pouvoir contractuel de rejeter les productions des concepteurs (Chapanis, 1996).

De plus, le problème évolue tout au long de l'analyse des besoins. Des exigences exprimées au début du projet peuvent être supprimées, et d'autres ajoutées ou modifiées. Le risque, pour l'ergonome, est de proposer des exigences qui se révéleront incompatibles avec d'autres contraintes (techniques, coûts, temps, etc.), et seront, *in fine*, remises en question par les concepteurs.

Pour minimiser l'ensemble de ces risques, l'ergonome assistant la MOA doit mettre en place deux parades.

Premièrement, il doit organiser une simulation de l'activité future avec le nouveau système (Daniellou & Naël, 1995; Garrigou et al., 2001). Cependant, des maquettes informatiques suffisamment fonctionnelles pour que leur évaluation soit pertinente ne sont pas toujours réalisables aisément et à moindre coût. Lors de l'évaluation de dispositifs dont la technologie est insuffisamment mature, les utilisateurs peuvent se focaliser sur les problèmes techniques rencontrés (Anastassova, 2006; Anastassova et al., 2007). Dans ces conditions, les évaluations apportent peu d'éléments pertinents aux concepteurs. De plus, dans tout projet de conception, le temps est compté. Les maquettes sont généra-

4. Pour rappel, le GT conduite est le groupe d'opérateurs de salle de commande ayant participé au projet APTS.

lement développées de manière parallèle au prototype final. Si les maquettes arrivent tardivement, leur évaluation risque de remettre en cause le système trop profondément pour que les changements soient aisés et peu coûteux à prendre en considération. Par exemple, dans APTS, la maquette informatique fut disponible deux ans et demi après le début du projet, soit un an après la première version papier de la maquette et six mois avant la fin du projet. Attendre de posséder cette maquette pour évaluer le système auprès des utilisateurs aurait causé des retards irréversibles. Ainsi, il semble important de pouvoir construire rapidement des maquettes. Néanmoins, leur production nécessite une première définition des spécifications, ce qui n'est généralement pas du ressort de l'ergonome assistant la MOA. A contrario, en participant directement à la définition des solutions, l'ergonome co-concepteur peut construire rapidement une première maquette papier conforme aux besoins et aux exigences identifiés par exemple (Maguire, 2001). Les évaluations itératives de la solution seront possibles très tôt et à faible coût dans le projet, diminuant ainsi le risque de retard et d'inadéquation du système aux attentes des utilisateurs. Par exemple, dans APTS, la première maquette papier fut disponible un an et demi après le début du projet. Elle a été soumise cinq fois aux futurs utilisateurs⁵, créant autant d'occasions de recueillir leurs remarques et suggestions d'amélioration (cf. chapitres 5 et 9).

Deuxièmement, l'ergonome assistant la MOA doit mettre en place un suivi serré des spécifications produites par les concepteurs tout au long du projet (Wulff et al., 1999b). De cette manière, il pourra vérifier l'adéquation entre les spécifications produites et les exigences qu'il a formulées. Cependant, dans cette posture, l'ergonome aura des interactions moins soutenues avec les concepteurs. Les rencontres entre ces derniers et la MOA sont généralement moins régulières que les réunions entre les concepteurs. Or, ces séances de travail offrent une opportunité unique à l'ergonome co-concepteur de faire évoluer et de s'assurer rapidement de la faisabilité technique des spécifications ou des alternatives qu'il propose (cf. chapitre 9). Ainsi, pour les ergonomes assistant la MOA, le risque est que les modifications suggérées arrivent de manière trop tardive pour être prises en compte à moindre coût et sans augmenter drastiquement la durée du projet.

Au vu de ces arguments, la position de co-concepteur semble offrir une plus-value intéressante à l'ergonome et au projet, notamment lorsque elle couplée au rôle d'assistant à la MOA. En tenant cette double posture, l'ergonome dispose de marges de manœuvre plus grandes pour apporter des solutions (1) adaptées aux attentes des utilisateurs, à leur activité et à la situation réelle de travail, (2) pouvant évoluer rapidement de par sa présence constante dans le projet, et (3) réalisables techniquement. Ainsi, il participe à minimiser les risques de modifications tardives coûteuses pour le budget et la durée du projet. Par conséquent, de notre point de vue, l'ergonome co-concepteur doit également prendre le rôle d'assistant à la MOA afin de prendre en compte de manière plus globale le travail et l'activité des utilisateurs dans la conception du système, notamment à travers l'évaluation itérative des maquettes du système et l'enrichissement des objectifs du projet.

5. Plus précisément, elle fut présentée au cours de deux observations sur le terrain et de trois réunions.

10.5 Vers une méthode d'intervention ergonomique de co-conception

À partir des résultats précédents et de la littérature sur le sujet, nous proposons de définir les éléments d'une méthode d'intervention ergonomique en co-conception. Dans un premier temps, nous présentons les conditions d'une telle intervention. Puis, nous décrivons des éléments l'activité individuelle et collective de l'ergonome dans le processus d'analyse des besoins.

10.5.1 Conditions de la participation d'un ergonome co-concepteur à l'analyse des besoins

Les résultats issus des études empiriques et de l'observation de notre participation nous amènent à proposer sept conditions à une participation de l'ergonome en tant que co-concepteur.

1. Le travail collectif ne se décrète pas. Les acteurs engagés dans le projet doivent avoir la volonté de travailler ensemble. L'ergonome et les ingénieurs étant généralement de formation disciplinaire différente, il est important d'adopter un langage commun. L'ergonome doit comprendre le point de vue des ingénieurs, et inversement. Par exemple, l'ergonome doit comprendre la (ou les) technologie(s) sur laquelle est basée le système et les possibilités de celle-ci. Dans APTS, l'ergonome a pu proposer des fonctions qu'une fois les possibilités techniques comprises (chapitre 5). À ce sujet, il semble que l'intervention d'un ingénieur aux côtés de l'ergonome lors des analyses terrain peut se révéler être une aide précieuse pour que chacun comprenne le point de vue spécifique de l'autre.
2. L'identification des besoins sur le terrain et des exigences doit se poursuivre même lorsqu'une maquette formalisant les premières spécifications a été réalisée. Dans APTS, l'ergonome a réalisé les deux en parallèle (chapitre 5). En effet, en conception, le problème (les besoins) et la solution (les spécifications) se co-construisent mutuellement. Proposer des solutions à travers des maquettes d'interface permet de mieux cerner les besoins des utilisateurs. Ceux-ci ont exprimé davantage d'exigences ou d'évolutions lorsqu'une maquette fut disponible.
3. En corollaire, les maquettes doivent être réalisées le plus tôt possible dans le projet (cf. section 10.4.2). Il n'est pas nécessaire de disposer d'une maquette informatique dynamique pour obtenir des retours intéressants de la part des utilisateurs. Les premières maquettes peuvent être présentées sous forme papier et non interactives (Maguire, 2001).
4. Si les utilisateurs ne disposent pas du statut de co-concepteur, l'organisation de consultations régulières auprès d'eux est indispensable pour faire avancer la compréhension du problème à résoudre. Ces réunions sont un lieu privilégié pour confronter les points de vue des différents acteurs (chapitre 9). La présence des ingénieurs à ces réunions est requise pour évaluer la faisabilité technique des propositions et des alternatives suggérées (chapitre 9). Par contre, il faut également alterner ces confrontations avec des séances de travail individuel et des réunions de l'équipe de conception, notamment afin de construire les solutions avec les ingénieurs. Ces

consultations doivent intervenir tout au long du projet afin que les acteurs puissent arriver à un consensus.

5. L'ergonome ne peut s'appuyer uniquement sur les résultats de l'analyse du travail en situation de référence pour proposer des exigences et des spécifications. Par exemple, certaines fonctions et la majorité des spécifications d'interface proviennent de connaissances issues de la littérature scientifique, de normes ou de recueils ergonomiques (chapitres 7 et 8). Il est nécessaire de faire appel à d'autres sources de connaissances et notamment de disposer d'une expertise dans des domaines divers. Par exemple, pour intervenir dans un projet de conception informatique, il semble nécessaire que l'ergonome dispose de connaissances fondamentales en ergonomie cognitive et en interaction humain-machine.
6. Enfin, que ce soit pour acquérir le statut de co-concepteur ou faciliter la participation des utilisateurs, il apparaît nécessaire de construire socialement l'intervention ergonomique. Les contacts noués avec les ingénieurs et les utilisateurs sont importants pour échanger efficacement et trouver un consensus (chapitre 5).
7. Plus largement, il est important que l'ergonome co-concepteur ne se limite pas à ce rôle, et adopte également une posture d'assistant à la MOA. Ainsi, par rapport aux concepteurs, l'ergonome ne vise pas uniquement la conception du système technique, il ambitionne d'améliorer globalement les conditions de travail afin de rendre le système plus efficace dans son ensemble. Par exemple, comme ce fut le cas dans APTS, l'ergonome peut enrichir les objectifs initiaux du projet.

10.5.2 Éléments de l'activité individuelle et collective de l'ergonome co-concepteur dans le processus d'analyse des besoins

D'après les résultats de nos études, et de la littérature sur le sujet, nous proposons un modèle descriptif de l'activité de l'ergonome co-concepteur au cours de l'analyse des besoins (figure 10.2). Le modèle indique trois activités principales réalisées en collaboration avec les concepteurs et les utilisateurs : identifier les besoins, formaliser les exigences et définir les spécifications. Celles-ci doivent être réalisées de manière itérative. Par exemple, il ne faut pas attendre d'avoir terminé la formalisation des exigences pour commencer la définition des spécifications. Cette dernière amènera, notamment en collaboration avec les utilisateurs, à modifier les exigences formalisées et ainsi de suite. Nous recommandons cependant d'effectuer un premier cycle aboutissant à la conception d'une maquette représentant l'ensemble des exigences et spécifications exprimées jusque-là. Celle-ci servira de base pour faire évoluer les premières exigences et spécifications.

L'identification des besoins renvoie à plusieurs activités de l'ergonome. Il s'agit d'identifier les caractéristiques spécifiques des futurs utilisateurs et d'analyser leur activité dans des situations de référence afin de dégager les difficultés, les stratégies efficaces, et les contraintes organisationnelles ou techniques auxquelles ils font face. L'ergonome doit également valider l'ensemble de ces informations auprès des utilisateurs et recueillir les attentes qu'ils expriment. Afin de proposer des solutions adéquates et réalisables, l'ergonome doit, en collaboration avec les ingénieurs, comprendre les possibilités des technologies envisagées.

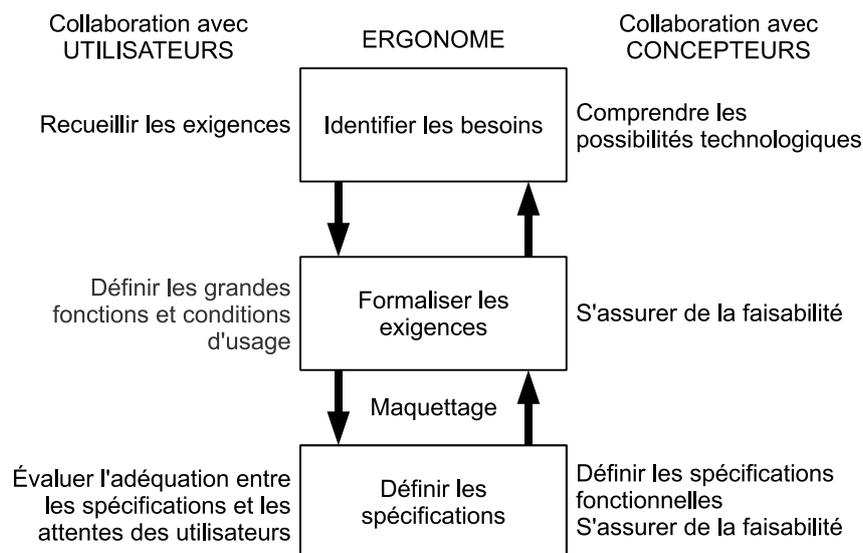


Figure 10.2 – Représentation de l'activité de l'ergonome co-concepteur lors de l'analyse des besoins.

Les exigences décrivent les attentes des utilisateurs concernant les caractéristiques, propriétés et fonctions du futur système. Elles doivent notamment être formulées de manière impérative, par exemple sous la forme « le système doit... » (Wulff et al., 1999b). Pour l'ergonome, formaliser les exigences consiste (1) à traduire les besoins identifiés au cours de l'étape précédente en termes d'exigences, et (2) à reformuler les attentes recueillies auprès des utilisateurs. Avec les utilisateurs, l'ergonome définit les grandes orientations fonctionnelles (type d'aide apportée aux utilisateurs, et buts d'utilisation) et les conditions d'usage du système. De son côté, il peut formaliser les grandes lignes de l'interface, les aspects organisationnels du système et l'ensemble des fonctions découlant des orientations fonctionnelles.

Enfin, l'ergonome doit définir les spécifications répondant aux exigences formalisées lors de l'étape précédente. Il définira notamment les spécifications d'interface à travers, par exemple, la conception de maquettes. Avec les ingénieurs, il peut formaliser les spécifications fonctionnelles. Plus précisément, l'ergonome spécifiera la partie utilisateurs des fonctions, c'est-à-dire les éléments du système auxquels les utilisateurs ont accès et pourront manipuler (entrées manuelles, contraintes utilisateurs, et sorties utilisateurs). Il convient toutefois, comme pour les exigences, de s'assurer de la faisabilité de l'ensemble de ces spécifications auprès des ingénieurs. Avec les utilisateurs, l'ergonome doit s'assurer de l'adéquation entre les spécifications et leurs exigences.

L'ensemble des exigences et des spécifications ne peut cependant être issu de leur première formalisation. D'une part, certaines d'entre elles ne sont peut-être pas réalisables. D'autre part, il y a co-construction des spécifications et des exigences. L'ergonome doit ainsi mettre en place les conditions de leur évolution et de leur validation, notamment à travers l'organisation et l'alternance de séances de travail avec les utilisateurs et les ingénieurs. En présentant les spécifications proposées par l'équipe de conception aux utilisateurs, ces derniers pourront faire évoluer les exigences correspondantes. En retour, avec les ingénieurs, l'ergonome pourra ainsi faire évoluer les spécifications. Pour cela, nous

recommandons l'utilisation de maquettes concrétisant les exigences et les spécifications (Maguire & Bevan, 2002). Ce type de présentation permet d'évaluer le système et de s'assurer de sa faisabilité. Cependant, les évaluations ne peuvent uniquement s'appuyer sur des dessins de l'interface. Ce type de maquette ne permet pas d'évaluer complètement un nouveau système (John & Salvucci, 2005; kyung Lim et al., 2006). Par exemple, il ne sera pas forcément possible de reproduire fidèlement l'interaction telle qu'elle est prévue. Au fur et à mesure de l'avancement du projet, il est nécessaire d'utiliser des maquettes de plus en plus proches du résultat final (Anastassova et al., 2007; Maguire, 2001).

10.6 Perspectives

Plusieurs pistes peuvent être données pour continuer les travaux initiés dans la thèse.

Premièrement, notre étude s'est focalisée sur la contribution d'un ergonome à la co-conception d'un système informatique. Même s'il est possible que certains de nos résultats soient généralisables à d'autres types de système, une étude en ce sens permettrait d'élargir le périmètre de nos recommandations.

Deuxièmement, dans APTS, les utilisateurs n'ont pas eu la possibilité de participer en position de co-concepteur. Comme nous l'avons vu, certaines de leurs contributions semblent directement liées à la forme de leur participation. Il serait intéressant d'étudier les effets d'une telle participation des utilisateurs, et notamment sur le positionnement des autres acteurs, dont l'ergonome.

Troisièmement, nous n'avons pas eu l'occasion, au cours de notre recherche, d'analyser l'évolution du cahier des charges depuis le début du projet. Seuls les changements apportés après la diffusion de la première version rédigée par l'ergonome ont été étudiés. Ainsi, nous n'avons pu appréhender la palette complète des évolutions et, par conséquent, du rôle des divers acteurs, dont l'ergonome.

Quatrièmement, la contribution de l'ergonome est uniquement analysée à travers un point de vue ergonomique. Afin de compléter cette approche, il conviendrait d'avoir le point de vue des autres acteurs avec lesquels l'ergonome est en interaction au cours de l'analyse des besoins, notamment les ingénieurs et les utilisateurs.

Enfin, notre travail et notamment les méthodes employées pour analyser le cahier des charges pourrait être utilisé comme base pour des études similaires. Notre recherche est confrontée à une des limites classiques des études de cas. Afin d'ouvrir un pas vers la généralisation des résultats, il est nécessaire de mener des études du même type. Dans ce cadre, les éléments du contexte ou les caractéristiques du projet et des acteurs influençant le rôle de l'ergonome et ses contributions pourraient être analysés.

Bibliographie

- Abercrombie, N., Hill, S., & Turner, B. S. (2000). Participant observation. In *Dictionary of sociology* (pp. 256). New York, U.S.A : Penguin Books, 4th edition.
- Akao, Y. (1990). *Quality Function Deployment : Integrating Customer Requirements into Product Design*. New York, USA : Productivity Press.
- Amalberti, R. (1996). *La conduite des systèmes à risques*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Anastassova, M. (2006). *L'analyse ergonomique des besoins en amont de la conception de technologies émergentes. Le cas de la Réalité Augmentée pour la formation à la maintenance automobile*. Thèse de doctorat en ergonomie, Université Paris Descartes, Paris.
- Anastassova, M., Mégard, C., & Burkhardt, J.-M. (2007). Prototype evaluation and user-needs analysis in the early design of emerging technologies. In J. Jacko (Ed.), *Human-Computer Interaction. Interaction Design and Usability*, volume 4550 of *Lecture Notes in Computer Science* (pp. 383–392). Springer Berlin / Heidelberg.
- Aoussat, A. & Le Coq, M. (1998). Méthodes globales de conception de produits. In M. Tollenaere (Ed.), *Conception de produits mécaniques. Méthodes, modèles et outils*. (pp. 53–75). Paris : Hermès Science.
- Arborio, A.-M. & Fournier, P. (2010). *L'observation directe*. Paris : Armand Colin.
- Bahill, T. A. & Dean, F. F. (2009). Discovering system requirements. In A. P. Sage & W. B. Rouse (Eds.), *Handbook of systems engineering and management* (pp. 205–266). New York, U.S.A. : John Wiley & Sons.
- Barcellini, F. (2008). *Conception de l'artefact, conception du collectif : dynamique d'un processus de conception ouvert et continu dans une communauté de développement de logiciels libres*. Thèse de doctorat, Conservatoire National des Arts et Métiers, Paris.
- Bardin, L. (1998). *L'analyse de contenu*. Presses Universitaires de France, 9ème edition.
- Barfield, T. J. (1997). Participant observation. In T. J. Barfield (Ed.), *The dictionary of anthropology*. Oxford, UK : Blackwell publishers.
- Bastien, C. & Scapin, D. L. (1993). *Ergonomic criteria for the evaluation of Human-Computer Interfaces*. Technical report, Institut National de Recherche en Informatique et Informatique, Rocquencourt, France.

- Bastien, C. & Scapin, D. L. (2004). La conception de logiciels interactifs centrée sur l'utilisateur : étapes et méthodes. In P. Falzon (Ed.), *Ergonomie* (pp. 451–462). Paris : Presses Universitaires de France.
- Bastien, C., Scapin, D. L., & Leulier, C. (1998). Une comparaison des critères ergonomiques et des principes de dialogue iso 9241-10 dans une tâche d'évaluation d'interface. *Revue d'Interaction Homme-Machine*, 1(1), 33–63.
- Beevis, D. (2003). Ergonomics—costs and benefits revisited. *Applied Ergonomics*, 34(5), 491 – 496. Cost Effectiveness.
- Béguin, P. (1994). *Travailler avec la CAO en ingénierie industrielle : de l'individuel au collectif dans les activités avec instruments*. Thèse de doctorat, Conservatoire National des Arts et Métiers, Paris.
- Béguin, P. & Weill-Fassina, A. (1997). De la simulation des situations de travail à la situation de simulation. In P. Béguin & A. Weill-Fassina (Eds.), *La simulation en ergonomie : connaître, agir et interagir* (pp. 5–28). Octares editions.
- Benzecri, J.-P. (1992). *Correspondence analysis handbook*. Dekker.
- Bisseret, A., Sebillotte, S., & Falzon, P. (1999). *Techniques pratiques pour l'étude des activités expertes*. Toulouse, France : Octarès.
- Blanchard, B. S. (2008). *System engineering management*. John Wiley and Sons, third edition edition.
- Blumer, H. (1966). Sociological implications of the thought of George Herbert Mead. *American journal of sociology*, 71(5), 535–544.
- Bonnardel, N. (1999). L'évaluation réflexive dans la dynamique de l'activité du concepteur. In J. Perrin (Ed.), *Pilotage et évaluation des processus de conception*. Paris : L'Harmattan.
- Booch, G., Rumbaugh, J., & Jacobson, I. (1998). *The Unified Modeling Language User Guide*. Addison-Wesley Object Technology Series. Addison-Wesley.
- Bourdieu, P. (1978). Sur l'objectivation participante. réponse à quelques objections. *Actes de la recherche en sciences sociales*, 23, 67–69.
- Bucciarelli, L. L. (2002). Between thought and object in engineering design. *Design Studies*, 23, 219–231.
- Burkhardt, J.-M. & Sperandio, J.-C. (2004). Ergonomie et conception informatique. In P. Falzon (Ed.), *Ergonomie* (pp. 437–450). Paris : Presses Universitaires de France.
- Burns, C. M. & Vicente, K. J. (1996). Judgments about the value and cost of human factors information in design. *Information Processing and Management*, 32(3), 259–271.
- Burns, C. M. & Vicente, K. J. (2000). A participant-observer study of ergonomics in engineering design : how constraints drive design process. *Applied Ergonomics*, 31, 73–82.

- Carballeda, G. (1997). *La contribution des ergonomes à l'analyse et à la transformation de l'organisation du travail : l'exemple d'une intervention relative à la maintenance dans une industrie de processus continu*. Thèse de doctorat, Conservatoire National des Arts et Métiers.
- Carroll, J. M. (2000). *Making use : scenario-based design of human-computer interactions*. Massachusetts Institute of Technology.
- Champaud, C. (1994). L'argumentation. *Psychologie Française*, 39, 193–203.
- Chapanis, A. (1996). *Human Factors in systems engineering*. New York : Wiley Interscience.
- Corroyer, D. & Wolff, M. (2003). *L'analyse statistique des données en psychologie : concepts et méthodes de base*. Paris, France : Armand Colin.
- Couix, S. (2007). Usages et construction des modèles de tâches dans la pratique de l'ergonomie : une étude exploratoire. Master's thesis, Université Paris Descartes.
- Couix, S. (2008). *Analyse du retour d'expérience sur les événements significatifs pour la sûreté lors des transitoires sensibles d'exploitation*. Technical Report H-T54-2008-04642-FR, EDF R&D, Clamart, France.
- Couix, S., Briant, A., & El-Hefni, B. (2011). *Projet EPO - Lot A2 : Description des fonctions utilisateurs de l'outil d'aide au pilotage de la montée en puissance et éléments de maquettage associés*. Technical Report H-T54-2009-03855-FR indice 2, EDF R&D, Clamart, France.
- Couix, S. & De-La-Garza, C. (2010). *La montée en puissance après rechargement - Projet EPO. Analyse finale de l'activité de conduite*. Technical report, EDF R&D.
- Couix, S., De-La-Garza, C., & Delgoulet, C. (2009). Impacts de l'organisation sur la performance collective : deux études de cas en salle de commande de centrale nucléaire. In I. Gaillard, A. Kerguelen, & P. Thon (Eds.), *Actes du 44ème congrès de la SELF, "Ergonomie et organisation du travail"* (pp. 517–525).
- Cramér, H. (1999). *Mathematical Methods of Statistics*. Princeton, USA : Princeton University Press.
- Daniellou, F. (1996). *Questions épistémologiques soulevées par l'ergonomie de conception*, (pp. 183–200). Octarès.
- Daniellou, F. (2004). L'ergonomie dans la conduite de projets de conception de systèmes de travail. In P. Falzon (Ed.), *Ergonomie* chapter 23, (pp. 359–373). Paris : Presses Universitaires de France.
- Daniellou, F. & Naël, M. (1995). Ergonomie. *Techniques de l'ingénieur. L'entreprise industrielle*, 3(T3100), T3100.1–T3100.23.
- Darses, F. (1994). *Gestion des contraintes dans la résolution des problèmes de conception*. Thèse de doctorat en psychologie cognitive, Université Paris VIII Saint-Denis, Paris.

- Darses, F. (1997). L'ingénierie concourante : un modèle en meilleure adéquation avec le processus cognitif de conception. In P. Bossard, C. Chanchevrier, & P. Leclair (Eds.), *Ingénierie concourante : de la technique au social* (pp. 39–55). Economica.
- Darses, F. (2006). Analyse du processus d'argumentation dans une situation de reconception collective d'outillages. *Le Travail Humain*, 69(4), 317–347.
- Darses, F. (2009). Résolution collective de problèmes de conception. *Le Travail Humain*, 72(1), 43–59.
- Darses, F. & de Montmollin, M. (2006). *L'ergonomie*. Paris : La Découverte.
- Darses, F., Détienne, F., & Visser, W. (2004). Les activités de conception et leur assistance. In P. Falzon (Ed.), *Ergonomie*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Darses, F. & Falzon, P. (1996). La conception collective : une approche de l'ergonomie cognitive. In G. de Terssac & E. Friedberg (Eds.), *Coopération et Conception* (pp. 123–135). Octarès.
- Darses, F. & Reuzeau, F. (2004). Participation des utilisateurs à la conception des systèmes et dispositifs de travail. In P. Falzon (Ed.), *Ergonomie* chapter 24, (pp. 405–420). Paris : Presses Universitaires de France.
- Darses, F. & Wolff, M. (2006). How do designers represent to themselves the users' needs? *Applied Ergonomics*, 37, 757–764.
- De Terssac, G. & Chabaud, C. (1990). Référentiel opératif commun et fiabilité. In J. Leplat & G. de Terssac (Eds.), *Les facteurs humains de la fiabilité dans les systèmes complexes* (pp. 110–139). Toulouse : Octarès.
- Denayrolles, Y. (2008). *Plan qualité du projet EPO "Exploitation du process à l'optimum". Contrat et note d'organisation du projet*. Rapport interne H-P10-2008-01666-FR, EDF R&D, Chatou, France.
- Détienne, F., Martin, G., & Lavigne, E. (2005). Viewpoints in co-design : a field study in concurrent engineering. *Design Studies*, 26, 215–241.
- Diaper, D. (2004). Understanding task analysis for human-computer interaction. In D. Diaper & N. Stanton (Eds.), *The Handbook of Task Analysis for Human-Computer Interaction* (pp. 5–47). Mahwah, New Jersey : Lawrence Erlbaum Associates.
- Diaz, F. (2005). L'observation participante comme outil de compréhension du champ de la sécurité. *Champ pénal (revue électronique)*, 2, mis en ligne le 13 novembre 2009, URL : <http://champpenal.revues.org/79>.
- Ericsson, K. A. & Simon, H. A. (1993). *Protocol analysis : verbal reports as data*. The MIT Press, revised edition.
- Ewusi-Mensah, K. (1997). Critical issues in abandoned information systems development projects. *Communications of the ACM*, 40(9), 74–80.
- FD X50-127 (2002). *Maîtrise du processus de conception et développement*. La Plaine Saint-Denis, France : Agence Française de Normalisation. AFNOR.

- Février-Quesada, T., Darses, F., & Lewkowicz, M. (2003). Une démarche centrée utilisateur pour la conception d'un portail coopératif d'aide à l'innovation. *Ingénierie des systèmes d'information*, 8(2), 11–31.
- Feyen, R., Liu, Y., Chaffin, D., Jimmerson, G., & Joseph, B. (2000). Computer-aided ergonomics : a case study of incorporating ergonomics analyses into workplace design. *Applied Ergonomics*, 31(3), 291 – 300.
- Fine, G. A. (2001). Participant observation. In N. J. Smelser & P. B. Baltes (Eds.), *International encyclopedia of the social and behavioural sciences*, volume 16 (pp. 11073–11078). Oxford, UK : Elsevier.
- Garrigou, A., Thibault, J.-F., Jackson, M., & Mascia, F. (2001). Contributions et démarche de l'ergonomie dans les processus de conception. *Pistes*, 3(2).
- Goguen, J. A. & Linde, C. (1993). Techniques for requirements elicitation. In S. Fickas & A. Finkelstein (Eds.), *Proceedings of IEEE International Symposium on Requirements Engineering* (pp. 152–164). San Diego, California, USA : IEEE Computer Society.
- Guérin, F., Laville, A., Daniellou, F., Duraffourg, J., & Kerguelen, A. (1997). *Comprendre le travail pour le transformer : La pratique de l'ergonomie*. Lyon, France : ANACT.
- Haradji, Y. & Faveaux, L. (2006). évolution de notre pratique de conception (1985-2005) : modéliser pour mieux coopérer à partir de critères d'utilité, d'utilisabilité. *Activités*, 3(1), 67–98.
- Haslegrave, C. & Holmes, K. (1994). Integrating ergonomics and engineering in the technical design process. *Applied Ergonomics*, 25(4), 211–220.
- Hendrick, H. W. (2003). Determining the cost-benefits of ergonomics projects and factors that lead to their success. *Applied Ergonomics*, 34(5), 419 – 427.
- Hendrick, H. W. (2008). Applying ergonomics to systems : Some documented « lessons learned ». *Applied Ergonomics*, 39(4), 418 – 426.
- Hoc, J.-M. (1989). La conduite d'un processus continu à longs délais de réponse : une activité de diagnostic. *Le Travail Humain*, 52(4), 289–316.
- Hollnagel, E. (2004). *Barriers and accident prevention*. Aldershot : Ashgate.
- Howells, J. (1997). Rethinking the market-technology relationship for innovation. *Research Policy*, 25, 1209–1219.
- Hugues, E. C. (1996). *Le regard sociologique*. Paris : Éditions de l'EHESS.
- ISO 13407 (1999). *Processus de conception centré sur l'opérateur humain pour les systèmes interactifs*. Genève, Suisse : International Standards Organisation.
- ISO 9241 (2001). *Exigences ergonomiques pour travail de bureau avec terminaux à écrans de visualisation (TEV)*. Genève, Suisse : International Standards Organisation.
- Jackson, M. (1995). *Software requirements and specifications. A lexicon of practice, principles and prejudices*. Addison-Wesley.

- Jackson, M. & Zave, P. (1995). Deriving specifications from requirements : an example. In *Proceedings of the 17th international conference on Software engineering (ICSE '95)* (pp. 15–24). New York, NY, USA : ACM.
- Jeffroy, F. (1993). Les recommandations en ergonomie du logiciel. *Génie logiciel et systèmes experts*, 29, 40–46.
- John, B. E. & Salvucci, D. D. (2005). Multipurpose prototypes for assessing user interface in pervasive computing systems. *IEEE Pervasive Computing*, 4(4), 27–34.
- Karwowski, W., Ed. (2006). *Handbook on standards and guidelines in ergonomics and human factors*. Mahwah, New Jersey, U.S.A. : Lawrence Erlbaum Associate.
- Kutar, M., Britton, C., & Barker, T. (2002). A Comparison of Empirical Study and Cognitive Dimensions Analysis in the Evaluation of UML Diagrams. In J. Kuljis, L. Baldwin, & R. Scoble (Eds.), *14th Workshop of the Psychology of Programming Interest Group* (pp. 1–14).
- kyung Lim, Y., Pangam, A., Periyasami, S., & Aneja, S. (2006). Comparative analysis of high- and low-fidelity prototypes for more valid usability evaluations of mobile devices. In *Proceedings of the 4th Nordic conference on Human-computer interaction : changing roles* (pp. 291–300). New York, NY, USA : ACM.
- Lamonde, F. (2000). *L'intervention ergonomique, un regard sur la pratique professionnelle*. Toulouse, France : Octarès.
- Lamonde, F. (2004). Les prescriptions des ergonomes. In P. Falzon (Ed.), *Ergonomie* (pp. 391–404). Paris : Presses Universitaires de France.
- Le Roux, B. & Rouanet, H. (2004). *Geometric Data Analysis*, chapter Multiple Correspondance Analysis, (pp. 179–250). Kluwer : Dordrecht, The Netherlands.
- Lindgaard, G., Dillon, R., Trbovich, P., White, R., Fernandes, G., Lundahl, S., & Pinnamaneni, A. (2006). User needs analysis and requirements engineering : theory and practice. *Interacting with Computers*, 18, 47–70.
- Loup-Escande, E. (2010). *Vers une conception centrée sur l'utilité : Une analyse de la co-construction participative et continue des besoins dans le contexte des technologies émergentes*. PhD thesis, Faculté des sciences, Angers.
- Maguire, M. (1998). *User-Centred Requirements Handbook*. Technical report, RESPECT Consortium.
- Maguire, M. (2001). Methods to support human-centred design. *International Journal of Human-Computer Studies*, 55, 587–634.
- Maguire, M. & Bevan, N. (2002). User requirements analysis : a review of supporting methods. In J. Hammond, T. Gross, & J. Wesson (Eds.), *Proceedings of IFIP 17th World Computer Congress* (pp. 133–148). Montreal, Canada : Kluwer.
- Mazeau, M. (2003). De l'ergonomie de problème à l'ergonomie de système : l'ergonome, un ingénieur comme les autres. In C. Martin & D. Baradat (Eds.), *Des pratiques en réflexion* (pp. 466–472). Toulouse : Octarès.

- Miller, C. A. & Vicente, K. J. (2001). Comparison of display requirements generated via hierarchical task and abstraction–decomposition space analysis techniques. *International Journal of Cognitive Ergonomics*, 5(3), 335–355.
- Mumaw, R. J., Roth, E. M., Vicente, K. J., & Burns, C. M. (2000). There is more to monitoring a nuclear power plant than meets the eye. *Human Factors*, 42(1), 36–55.
- NASA (2007). *Systems Engineering Handbook*. Technical Report NASA-SP-2007-6015-Rev1, NASA, Hanover, MD, USA.
- NF X50-100 (1996). *Analyse fonctionnelle - Caractéristiques fondamentales*. La Plaine Saint-Denis, France : Agence Française de Normalisation. AFNOR.
- Nicolas, L. (2000). *L'activité de simulation en Analyse Fonctionnelle : vers des outils anthropocentrés pour la conception de produits automobiles*. PhD thesis, Conservatoire National des Arts et Métiers.
- Nikolopoulou, H. (1998). Dynamiques d'intégration et légitimité de l'ergonomie dans les projets de conception , , université de toulouse le mirail, 1998. In *Actes du colloque « Recherche et Ergonomie »* Toulouse.
- Notte, D. (1993). La pratique ergonomique dans la conception d'un controle de processus. In J.-C. Sperandio (Ed.), *L'ergonomie dans la conception de projets informatiques* (pp. 439–479). Toulouse : Octares.
- Notte, D. & Le Port, M.-C. (2007). Application d'une démarche ergonomique dans la conception de produits bureautiques. In M. Zouinar, G. Vallery, & M.-C. Le Port (Eds.), *Actes du 42^e Congrès de la Société d'Ergonomie de Langue Française, Ergonomie des produits et des services, Saint Malo, 5-7 septembre* Toulouse : Octares.
- NUREG-0711 (2004). *Human Factors Engineering Program Review Model*. Washington DC, U.S.A : U.S. Nuclear Regulatory Commission.
- Pahl, G. & Beitz, W. (1996). *Engineering Design, a systematic approach*. London : Springer, 2nd edition.
- Petit, J., Querelle, L., & Daniellou, F. (2007). Quelles données pour la recherche sur la pratique de l'ergonome ? *Le Travail Humain*, 70(4), 391–411.
- Pollier, A. (1992). Evaluation d'une interface par des ergonomes : diagnostics et stratégies. *Le Travail Humain*, 55(1), 71–95.
- Querelle, L. & Thibault, J.-F. (2007). La pratique de l'intervention d'ergonomes consultants : une approche réflexive orientée par les outils. *@ctivités*, 4(1), 149–159.
- Rabardel, P., Carlin, N., Chesnais, M., Lang, N., Le Joliff, G., & Pascale, M. (1998). *Ergonomie : concepts et méthodes*. Toulouse, France : Octarès.
- Rasmussen, J. (1986). *Information processing and human-machine interaction. An approach to cognitive engineering*. System science and engineering. Amsterdam : North-Holland.

- Robertson, S. (2001). Requirements trawling : techniques for discovering requirements. *International Journal of Human-Computer Studies*, 55, 405–421.
- Rolland, C. & Prakash, N. (2000). From conceptual modelling to requirements engineering. *Annals of Software Engineering*, 10(1), 151–176.
- Ross, D. T. (1977). Structured analysis (SA) : a language for communicating ideas. *IEEE transactions on software engineering*, 3(1), 16–34.
- Rouanet, H., Le Roux, B., & Bert, M.-C. (1987). *Statistiques en sciences humaines : procédures naturelles*. Paris : Dunod.
- Roussel, B. (1996). *Ergonomie en conception de produits. Proposition d'une méthode centrée sur la formulation de principes de solutions ergonomiques dans le processus interdisciplinaire de conception de produits*. Thèse de doctorat, école Nationale Supérieure des Arts et Métiers, Paris.
- Sage, A. P. & Rouse, W. B. (2009). *Handbook of systems engineering and management*. New York , U.S.A. : John Wiley & Sons.
- Schmidt, K. (1991). Cooperative work : a conceptual framework. In J. Rasmussen, B. Brehmer, & J. Leplat (Eds.), *Distributed decision making* (pp. 75–110). Chichester : John Wiley & Sons.
- Schwartz, M. S. & Schwartz, C. G. (1955). Problems in participant observation. *American journal of sociology*, 60, 343–353.
- Simon, H. A. (1999). *The Sciences of the Artificial*. the MIT Press, 3rd edition.
- Smith, S. L. & Mosier, J. N. (1986). *Guidelines for designing user interface software*. Technical Report ESD-TR-86-278, MITRE Corporation, Bedford, Massachusetts, USA.
- Sommerville, I., Rodden, T., Sawyer, P., Bentley, R., & Twidale, M. (1993). Integrating ethnography into the requirements engineering process. In S. Fickas & A. Finkelstein (Eds.), *Proc. IEEE International Symposium on Requirements Engineering* (pp. 165–173). San Diego, California, USA : IEEE Computer Society.
- Soulé, B. (2007). Observation participante ou participation observante ? Usages et justifications de la notion de participation observante en sciences sociales. *Recherches qualitatives*, 27(1), 127–140.
- Sperandio, J.-C. (1993). L'ergonomie dans la conception des projets informatiques.
- Sperandio, J.-C. (2001). Critères ergonomiques de l'assistance technologique aux opérateurs. In B. Martin, G. Michel, I. Pecci, R. Vivian, J. Barcenilla, & E. Brangier (Eds.), *Actes du congrès JIM'2001 : Interaction Homme-Machine & Assistance* Metz, 4-6 Juillet : Université de Metz.
- Sutcliffe, A. (2002). *User-centred requirements engineering*. London : Springer Verlag.
- Tran Van, A., Landry, A., & Martin, C. (2008). Place des orientations stratégiques dans la conception. In *Actes du 43^e Congrès de la Société d'Ergonomie de Langue Française, Ergonomie et Conception, Ajaccio, 17-19 septembre 2008* Paris : ANACT.

- Vermersch, P. (1991). L'entretien d'explicitation. *Les cahiers de beaumont*, 52bis-53, 63–70.
- Vicente, K. J., Roth, E. M., & Mumaw, R. J. (2001). How do operators monitor a complex, dynamic work domain? the impact of control room technology. *International journal of human-computer studies*, 54, 831–856.
- Viller, S. & Sommerville, I. (1999). Social analysis in the requirements engineering process : From ethnography to method. In *RE '99 : Proceedings of the 4th IEEE International Symposium on Requirements Engineering, Limerick, Ireland, 7–11th june.* (pp. 6–13). Washington, DC, USA : IEEE Computer Society.
- Visser, W. (2004). *Dynamic aspects of design cognition : elements for a cognitive model of design.* Technical Report N° 5144, INRIA, Rocquencourt.
- Wickens, C. D. & Hollands, J. G. (1999). *Engineering Psychology and Human Performance.* Upper Saddle River : Prentice Hall, 3ème édition.
- Wolff, M., Burkhardt, J.-M., & De La Garza, C. (2005). Analyse exploratoire de « points de vue » : une contribution pour outiller les processus de conception. *Le Travail Humain*, 68(3), 253–286.
- Wulff, I. A., Westgaard, A., & Rasmussen, B. (1994). What is « care » and how much is « care »? Ergonomic criteria in engineering design. In *Actes du 12ème Congrès Triennal de l'International Ergonomics Association*, volume 4 (pp. 25–27). Toronto : Human Factors Association of Canada.
- Wulff, I. A., Westgaard, R. H., & Rasmussen, B. (1999a). Ergonomic criteria in large-scale engineering design–i management by documentation only? formal organization vs. designers' perceptions. *Applied Ergonomics*, 30(3), 191 – 205.
- Wulff, I. A., Westgaard, R. H., & Rasmussen, B. (1999b). Ergonomic criteria in large-scale engineering design–ii evaluating and applying requirements in the real world of design. *Applied Ergonomics*, 30(3), 207 – 221.
- Yannou, B. (1998). Analyse fonctionnelle et analyse de la valeur. In M. Tollenaere (Ed.), *Conception de produits mécaniques. Méthodes, modèles et outils* (pp. 77–104). Paris, France : Hermès Science.
- Zave, P. (1997). Classification of research efforts in requirements engineering. *ACM Computing Surveys*, 29(4), 315–321.

ANNEXES

Annexe A : Une formation et des expériences déterminantes pour notre participation au projet

Nous sommes diplômés d'un master professionnel d'ergonomie (2006, Université Paris Descartes) et d'un master recherche en ergonomie¹ (2007). Avant de commencer la thèse et le projet APTS en 2008, nous avons donc été formés à l'ergonomie de conception de systèmes informatiques et avons participé à deux projets de conception.

En master professionnel nous avons suivi une spécialisation en « ergonomie des nouvelles technologies de l'information et de la communication »². Au cours de cette formation, l'intervention ergonomique en conception de systèmes informatiques était vue comme allant du recueil d'informations sur la situation et les opérateurs jusqu'à l'évaluation et à la spécification des systèmes à travers la réalisation de maquettes. De plus, l'ergonomie était présentée par les enseignants³ comme contribuant à l'utilisabilité et à l'utilité des dispositifs. Dans cette optique, en plus de l'interface, il est nécessaire de s'impliquer dans la conception des diverses dimensions du système, dont la dimension fonctionnelle.

Cette vision de l'intervention ergonomique a ensuite été renforcée lors de nos premières expériences professionnelles. Intégré dans le Laboratoire d'Ergonomie Informatique de l'Université Paris Descartes, nous avons travaillé auprès de Jean-Marie Burkhardt, un de nos enseignants à l'époque, dans deux projets de conception. Le premier projet visait la conception d'un outil d'aide à l'activité d'analyse d'accident dans l'industrie pétrochimique (projet VIRTUALIS⁴). Dans ce projet nous étions notamment chargés de réaliser l'analyse des besoins des enquêteurs de Total Petrochemicals et de participer à la spécification fonctionnelle du démonstrateur de la technologie. Le deuxième projet de conception s'inscrit dans le cadre du projet PERF-RV2⁵. Ici, nous étions chargés de réaliser l'analyse des besoins des utilisateurs afin de spécifier l'interface et les fonctions d'un outil informatique d'aide à la modélisation des tâches à destination des ergonomes. Il est d'ailleurs possible de retrouver des traces de cette analyse des besoins dans notre mémoire de recherche (Couix, 2007).

1. Porté par les universités Paris Descartes, Paris 8, Bordeaux 2 et le Conservatoire National des Arts et Métiers.

2. Outre un tronc commun partagé par l'ensemble des élèves, la formation suivie proposait, en deuxième année de master, trois spécialités dont celle-ci.

3. Notamment Jean-Marie Burkhardt, Christian Bastien et Jean-Claude Sperandio.

4. Virtual Reality and Human Factors Applications for Improving Safety, cf. www.virtualis.org/ pour plus d'informations.

5. Plateforme d'Étude et de Recherche Française en Réalité Virtuelle 2, cf. <http://www.perfrv2.fr/> pour des informations supplémentaires.

Annexe B : Le transitoire sensible de montée en puissance après rechargement

La montée en puissance après rechargement fait partie d'une famille de phases d'exploitation des réacteurs nucléaires appelée transitoire sensible. Après la définition de cette famille, nous décrivons la montée en puissance.

B.1 Les transitoires sensibles

Un transitoire est une phase non stable du processus, intermédiaire entre des domaines d'exploitation ou des états standards stables entre l'arrêt du réacteur et son fonctionnement à pleine puissance. La qualification « non stable¹ » renvoie à la nécessité, pour les opérateurs, de réaliser des opérations de contrôle (agir sur l'installation) pour l'amener dans un état stable et pour maintenir certains paramètres de fonctionnement dans une plage de valeur désirée. Par opposition, un état est dit stable lorsqu'aucune opération n'est nécessaire au maintien de certains paramètres-clés dans une plage acceptable.

Un transitoire peut être subi ou piloté. Il est dit subi lorsque le passage en transitoire n'est pas volontaire, par exemple suite à un îlotage ou un déclenchement de la turbine. Dans ce cas, la conduite du transitoire est en automatique. Peu d'actions des opérateurs sont, dans un premier temps, nécessaires² si tout se passe comme prévu (les opérateurs peuvent toutefois repasser en manuel si la situation l'exige). Un transitoire sera dit piloté lorsque les opérateurs pilotent manuellement le transitoire.

Un transitoire est qualifié de sensible lorsque l'homme est la dernière ligne de défense pour maintenir l'installation dans un domaine d'exploitation normal, c'est-à-dire avant que les systèmes de sauvegarde démarrent (arrêt automatique du réacteur, injection de sûreté, etc.). Par conséquent, lorsqu'un transitoire est subi il ne sera pas classé comme sensible, car la manœuvre est réalisée de manière automatique (sauf en cas de problème). Seuls les transitoires pilotés sont qualifiés de sensibles.

Lors d'un arrêt de l'installation ou de son redémarrage, tous les transitoires sensibles sont effectués. Par conséquent, ils sont, en général, planifiés à l'avance. Ils peuvent toutefois être fortuits. Par exemple, lorsque l'installation doit être mise dans un état stable particulier pour maintenance.

B.2 La montée en puissance après rechargement

La montée en puissance après rechargement est la dernière phase de l'arrêt de tranche. Elle constitue l'étape finale de la mise en production du réacteur. Effectuée uniquement après rechargement du cœur, cette opération est peu fréquente. Elle est réalisée tous les 12 à 18 mois selon les installations. La probabilité qu'un opérateur réalise et connaisse cette activité est faible et n'est pas corrélée à son expérience globale de la conduite de réacteur. La probabilité qu'il dispose d'une expertise et d'un savoir-faire spécifiquement

1. Il faut différencier l'état non stable de l'état instable, le premier est normal et sous contrôle des opérateurs, alors que le second ne l'est pas.

2. Les opérateurs devront toutefois entreprendre des actions de pilotage, surtout si le transitoire relève de la conduite incidentelle ou accidentelle.

adaptés à cette activité est encore plus faible. Les opérateurs s'appuient donc sur les connaissances plus générales dont ils disposent sur le pilotage de l'installation.

Par ailleurs, la montée en puissance après rechargement est une phase de conduite longue, durant entre 4 et 8 jours. Une telle durée impose une coopération forte entre les équipes de quart. De plus, la montée fait intervenir d'autres métiers (automaticiens, électriciens, essais et ingénierie cœur) avec lesquels les opérateurs devront collaborer. *

La montée en puissance après rechargement correspond à l'augmentation de la puissance de la tranche, c'est-à-dire de la puissance primaire (P1) et de la puissance secondaire (P2) de 1% P_n à 100% P_n. La montée en puissance est, de manière schématique, une série de phases de montée (pendant lesquelles la puissance de la tranche est augmentée) entrecoupée de phases de stabilisation. Dans les règles de conduite normale³, la montée est divisée en 5 étapes (figure B.1) :

- de 1% P_n à 7% P_n ;
- de 7% P_n à 15% P_n ;
- de 15% P_n à 48% P_n ;
- de 48% P_n à 78% P_n ;
- de 78% P_n à 100% P_n.

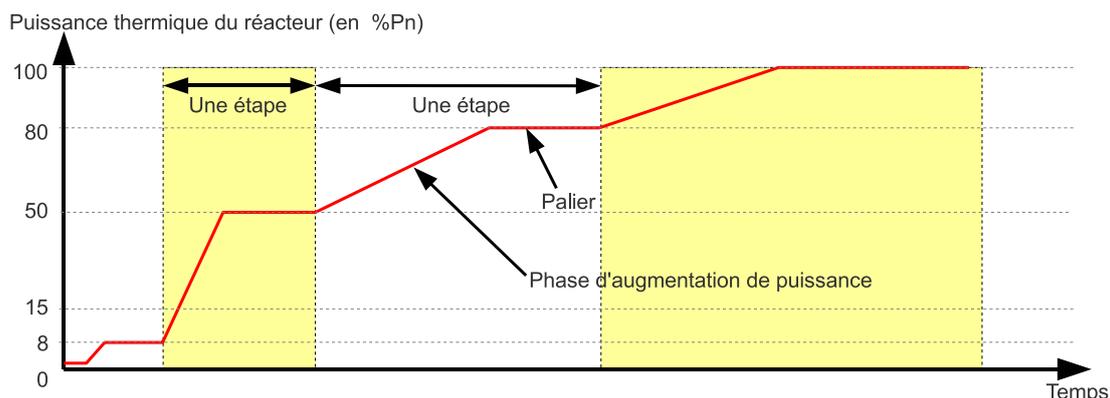


Figure B.1 – Diagramme schématique de la montée en puissance après rechargement. Les échelles sont données à titre indicatif.

Chaque fin d'étape correspond à un palier. À chaque palier, des essais sont menés (contrôle de la conformité du flux neutronique par rapport aux données calculées, calibrage des capteurs de flux neutronique, tests de fonctionnement de matériels, etc.). La stabilité de certains paramètres de l'installation est requise avant et pendant leur réalisation. En cas de non-respect de la stabilité, les essais doivent être recommencés, induisant des retards parfois importants.

Avant 50% P_n, la limite STE⁴ sur la vitesse de montée en puissance n'est pas très contraignante. Le risque de la dépasser est faible. Par contre, à partir de 50% P_n, la

3. Consignes utilisées par les opérateurs pour conduire l'installation.

4. Les spécifications techniques d'exploitation (STE) donnent l'ensemble des contraintes de fonctionnement de l'installation selon son domaine d'exploitation. Les STE fournissent aux opérateurs les valeurs des limites à respecter en fonction de l'état ou de la phase d'exploitation du réacteur.

vitesse de montée est restreinte à 3% P_n/h au maximum. Le risque de la dépasser est alors bien plus important.

Annexe C : Analyse du retour d'expérience

L'analyse du retour d'expérience (REX) porte sur les événements significatifs pour la sûreté (ESS) survenus lors des transitoires sensibles d'exploitation. Un ESS n'est ni un incident, ni un accident. Il s'agit d'un écart par rapport aux spécifications techniques d'exploitation (STE). Celles-ci fournissent l'ensemble des contraintes de fonctionnement de l'installation selon son domaine d'exploitation. Les STE contiennent les valeurs des limites à respecter en fonction de l'état ou de la phase d'exploitation du réacteur. L'analyse du REX est présentée de manière détaillée dans un rapport technique interne à EDF R&D(Couix, 2008)

C.1 Objectifs et éléments de méthode

Les objectifs de l'analyse sont notamment (1) d'orienter la conception d'une aide à la conduite des transitoires sensibles (TS), (2) d'identifier les transitoires sensibles et les étapes donnant lieu à des ESS, (3) de guider le choix des situations de travail à observer lors des futures analyses ergonomiques sur le terrain, et (4) d'avoir un aperçu des difficultés rencontrées par les opérateurs lors de la conduite des transitoires sensibles dont la montée en puissance. La finalité de cette analyse n'est donc pas de fournir une analyse globale et exhaustive des ESS, ni de fournir des actions correctrices directement applicables pour réduire le nombre d'ESS, ni de comparer les transitoires sensibles entre eux.

L'analyse porte sur les ESS ayant eu lieu entre 1992 et 2008 sur l'ensemble du parc nucléaire français. Les données sur les événements sont issues de différentes bases de données d'EDF. Nous avons classé les ESS selon : le site et son palier, la date, le quart pendant lequel l'ESS est survenu, l'étape du transitoire en cours, le niveau d'implication des opérateurs de la salle de commande (SdC) dans la genèse de l'ESS, les causes identifiées dans les rapports et leurs conséquences.

C.2 Principaux résultats

La montée en puissance est le transitoire sensible au cours duquel le plus d'ESS ont lieu (tableau C.1). Ce résultat confirme la demande initiale de la division de la production nucléaire (DPN, commanditaire du projet) de travailler plus particulièrement sur ce transitoire sensible afin de réduire le nombre d'ESS.

Les ESS surviennent principalement entre 15% Pn et 78% Pn, notamment lors de manœuvres manuelles ou automatiques de matériels du circuit secondaire. Ils sont causés de manière prépondérante par des erreurs révélant des difficultés et des problèmes en interaction avec les outils disponibles en salle de commande et le nombre parfois important de tâches réalisées en parallèle par les opérateurs. Ces ESS concernent surtout des dépassements du gradient de montée en puissance autorisé par les STE.

L'analyse détaillée des résultats suggère que l'introduction d'un nouvel outil d'aide à la conduite spécifique et mieux adapté à l'activité réelle des opérateurs peut apporter des réponses à certaines difficultés rencontrées par les opérateurs, tout en améliorant la performance de conduite. Cependant, l'introduction d'un nouvel outil ne résoudra

Transitoire sensible	Hors SdC	SdC impliquée	TOTAL
Montée en puissance après rechargement	39	62	101
Collapsage de la bulle	1	19	20
Passage d'AN/GV aux conditions d'arrêt à chaud à AN/GV aux conditions du RRA	3	13	16
Connexion du RRA	3	10	13
Passage à la PTB du RRA	27	8	35
Divergence du réacteur	3	8	11
Formation de la bulle	4	6	10
TOTAL	80	126	206

TABLEAU C.1 – Nombre d'ESS selon le transitoire sensible considéré et l'implication de la salle de commande (SdC).

pas l'ensemble des problèmes identifiés. Une réflexion plus large sur l'impact d'un tel outil doit être menée pour effectivement réduire le nombre d'ESS lors de la montée en puissance. Plusieurs directions peuvent être proposées. D'après notre analyse, il semble indispensable de porter notre attention sur :

- la préparation et la formation des opérateurs (hors temps réel) au pilotage de la montée ;
- la qualité et l'ergonomie des documents utilisés ;
- l'intérêt d'une réorganisation de l'équipe des opérateurs pour mieux maîtriser les nombreuses tâches en parallèle à assumer lors de la réalisation du transitoire.

Annexe D : Analyse du travail des opérateurs de la conduite

L'analyse du travail des opérateurs de la conduite constitue une des méthodes employées en vue d'identifier les besoins des opérateurs. Elle est détaillée dans un rapport technique interne à EDF R&D (Couix & De-La-Garza, 2010).

D.1 Objectif

L'objectif de l'analyse du travail est de comprendre l'activité des opérateurs et le contexte socio-organisationnel de cette activité, afin :

- d'identifier les limites du système humain-machine actuel et notamment les freins à l'amélioration de la sûreté et la productivité ;
- de fournir des données pertinentes pour la conception d'un outil aidant les opérateurs à piloter la montée en puissance.

Les données présentées ont été recueillies par :

- des entretiens et des observations ouvertes lors de cinq montées en puissance après rechargement sur cinq sites différents (127 heures d'observation, voir tableau D.1) ;
- des questionnaires envoyés aux membres du groupe de travail des opérateurs de la conduite (GT conduite) ;
- le suivi des formations des équipes de conduite à la montée en puissance dispensées en salle (50 heures d'observation) et sur simulateur (50 heures d'observation).

Les informations recueillies sont la base des exigences et des spécifications contenues dans le cahier des charges (Couix et al., 2011).

D.2 Principaux résultats

D.2.1 L'activité de pilotage

Le cœur de l'activité des opérateurs est d'augmenter P1 (puissance du primaire) et P2 (puissance du secondaire) tout en maintenant un écart quasi nul entre les deux. La difficulté centrale étant de caler l'évolution de P1 sur celle de P2 alors que la dynamique du contrôle de l'une est différente de celle de l'autre. L'activité des opérateurs dépend de :

- la partie de la tranche contrôlée (primaire ou secondaire) ;
- les dispositifs techniques installés (par exemple, le dispositif limitant automatiquement la vitesse de la montée de P2, l'automate de dilution) ;
- le niveau de puissance (avant et après 50% Pn¹) ;
- la stratégie de pilotage adoptée (dilution uniquement vs. dilution et extraction des grappes) ;
- et la répartition des tâches entre les membres de l'équipe de Conduite.

1. Puissance nominale du cœur.

Le maintien de l'équilibre et l'augmentation de P1 et P2 repose sur une activité de suivi et d'anticipation orientée par :

- le but poursuivi par l'opérateur² ;
- les connaissances dont il dispose sur le fonctionnement de l'installation ;
- la stratégie de montée en puissance adoptée.

Phase	Site	Durée observée	Quart	Expérience des opérateurs		
				OPR	OPEV	OP renfort
8% à 15% Pn	Site 1	1h30	Matin	6 ans *	1 an *	11 ans
15% à 48% Pn	Site 1	4h	Nuit	10 ans	1 an	-
			Matin	2 ans	6 ans	4 ans
48% à 78% Pn	Site 1	10h	Nuit	10 ans *	1 an *	-
			Matin	2 ans *	6 ans	4 ans
78% à 100% Pn	Site 1	9h	Matin	2 ans *	6 ans	4 ans
			Après-midi	6 ans *	1 an *	11 ans
15% à 48% Pn	Site 2	8h	Matin	8 ans *	2 mois *	10 ans
			Après-midi	8 ans *	6 ans *	-
48% à 78% Pn et oscillation xénon	Site 2	14h	Matin	2 ans *	6 ans *	4 ans
			Après-midi	1 an *	8 ans *	10 ans
78% à 100% Pn	Site 2	12h	Après-midi	1 an	8 ans	10 ans
			Nuit	8 ans *	6 ans *	-
			Matin	6 ans *	2 mois *	-
1% à 8% Pn	Site 3	30 min	Après-midi	9 ans *	9 ans	-
8% à 48% Pn	Site 3	3h	Nuit	10 ans *	6 mois	8 ans
48% à 78% Pn	Site 3	8h	Matin	9 ans *	7 ans	-
			Après-midi	10 ans *	6 mois	8 ans
			Nuit	-	-	-
8% à 48% Pn	Site 4	13h	Matin	11 ans *	4 ans *	6 mois
			Après-midi	16 ans *	1 an	-
			Matin	11 ans *	4 ans *	-
48% à 78% Pn et oscillation xénon	Site 4	11h	Matin	11 ans *	4 ans *	-
			Après-midi	16 ans	1 an *	-
			Matin	9 ans *	5 ans	-
1% à 8% Pn	Site 5	1h	Après-midi	5 ans*	6 ans	3 ans
8% à 15% Pn	Site 5	3h	Matin	7 ans*	4 ans	-
8% à 48% Pn	Site 5	8h	Après-midi	5 ans*	6 ans	3 ans
48% à 78% Pn et oscillation xénon	Site 5	17h	Matin	4 ans*	7 ans	-
			Après-midi	5 ans*	6 ans	3 ans
			Matin	4 ans*	9 ans	2 ans
			Après-midi	7 ans*	4 ans	-

TABLEAU D.1 – Description des phases de montée d'après leur durée, la durée observée, le quart concerné et l'expérience des opérateurs de l'équipe de Conduite selon la phase de montée. Légende : le signe * indique l'opérateur s'occupant de l'augmentation de puissance. Lorsque 2 opérateurs prennent en charge cette tâche, les deux sont suivis du signe *. OPR = opérateur réacteur. OPEV = opérateur eau-vapeur. OP renfort = opérateur en renfort.

Côté secondaire, les opérateurs doivent élever la puissance demandée à la turbine, maintenir un écart suffisant entre puissance de consigne et puissance réelle et augmenter la ca-

2. Ce but étant fonction de son rôle dans la montée en puissance.

pacité du circuit secondaire à produire de la puissance électrique. Deux modes de contrôle de la puissance secondaire ont été identifiés (manuel et semi-automatique). L'adoption de l'un ou de l'autre dépend de la possibilité d'installer un dispositif limitant la prise de charge au limiteur (DMP) et le niveau de puissance. Concrètement le mode de contrôle manuel implique davantage d'actions de contrôle et un suivi plus fréquent sur un nombre plus élevé de paramètres.

Côté primaire les opérateurs doivent augmenter la réactivité et contrôler la répartition du flux de neutrons dans le cœur. Deux stratégies ont été observées, soit les opérateurs agissent uniquement par dilution, soit ils diluent et extraient les grappes en parallèle. Cette dernière présente l'avantage de raccourcir considérablement la durée de la montée en puissance, la stabilité est plus rapide à atteindre, plus simple à maintenir et donc plus dure à perdre. Il semblerait que la stratégie employée par les opérateurs soit en grande partie fonction des dispositifs de préparation et d'aide à la réalisation mis en place par l'organisation. En effet, seuls les opérateurs ayant reçu une formation sur simulateur et un accompagnement de l'application de la stratégie l'ont appliquée. Même si le gain de productivité est évident, cette stratégie semble plus exigeante en terme de ressources cognitives. Nous posons l'hypothèse que la difficulté est de contrôler trois paramètres en parallèle (T_{moy} , T_{ref} et $DPax$ ³) ce qui amène les opérateurs à gérer un système à trois dynamiques de contrôle (figure D.1).

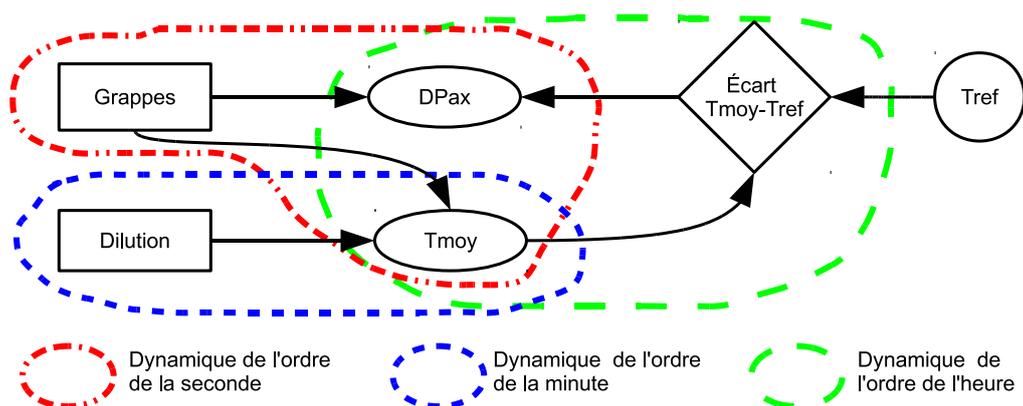


Figure D.1 – Dynamiques de contrôle entre T_{moy} , T_{ref} et $DPax$. La T_{moy} est une image de P1, la T_{ref} est une image de P2.

D.2.2 Répartition des tâches entre les opérateurs

Deux organisations des équipes de conduite ont été observées (figure D.2). L'augmentation de puissance peut être pilotée par un ou deux opérateurs. Dans le premier cas (organisation A), l'OPEV (opérateur du circuit secondaire) contrôle la « cible » suivie par l'OPR (opérateur du circuit primaire). Par conséquent, en plus de leur activité sur les paramètres dont ils doivent assurer l'augmentation et la maîtrise, les opérateurs devront mutuellement prendre en compte l'activité de l'autre. Dans le deuxième cas (organisation B), l'opérateur en charge de la montée dispose du contrôle quasi total de l'augmentation de la puissance de la tranche (l'autre étant dédié à d'autres tâches comme les essais

3. Répartition axiale de la puissance du cœur

périodiques). En d'autres termes, il contrôle davantage les paramètres dont il assure l'augmentation et la maîtrise. La coordination des activités de l'OPR et de l'OPEV ne jouera plus sur leurs actions, mais sur leurs buts proximaux ou sur leurs tâches.

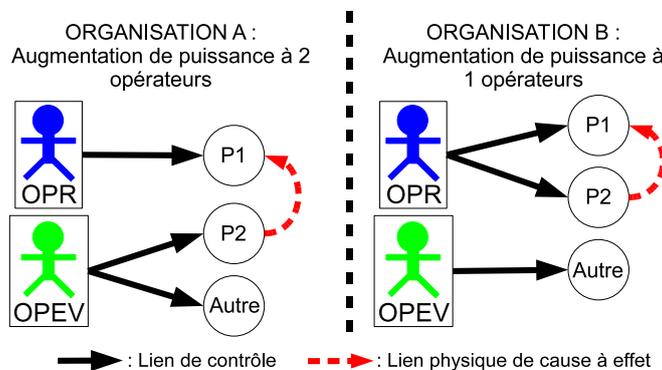


Figure D.2 – Répartition des tâches entre les opérateurs.

D.2.3 Besoins identifiés

Les besoins identifiés (voir une liste non exhaustive tableau E.1, p.177) ont été regroupés en trois catégories. La première renvoie aux difficultés liées au pilotage. Comme l'activité de pilotage, ces difficultés sont notamment dépendantes des technologies présentes sur la tranche et du niveau de puissance. En tout, quinze difficultés de ce type ont été identifiées. Par exemple, prendre en compte l'effet de mises en service automatiques de matériels du circuit secondaire sur la prise de puissance alors que les opérateurs les rencontrent peu fréquemment. Autre exemple, prédire finement l'évolution du DPax et le stabiliser rapidement alors que (1) les moyens pour agir sur ce paramètre sont limités et (2) son évolution dépend notamment de la géométrie du cœur et du type de combustible utilisé.

La deuxième catégorie concerne les aspects collectifs de la montée en puissance (collaboration avec les métiers, coopération inter- et intra-équipes). Cinq difficultés appartiennent à cette catégorie. Par exemple, il arrive que les métiers n'informent pas les opérateurs de salle de commande de leurs activités en cours ou futures. Par conséquent, les opérateurs peuvent avoir des difficultés à intégrer l'activité des métiers dans leur activité propre.

Enfin, la difficulté restante concerne la préparation au pilotage de la montée en puissance. La montée en puissance est une phase rare. Les opérateurs ont peu l'occasion de développer naturellement les compétences spécifiquement nécessaires pour assurer un pilotage efficace et efficient. À ce propos, un des sites sur lequel l'étude s'est déroulée, organise une formation spéciale en salle et sur simulateur pour un opérateur de chaque équipe de conduite.

D.3 Principales conclusions

Enfin, nos observations indiquent que la performance (en termes de productivité et de sûreté) des opérateurs varie en fonction de trois facteurs principaux :

- la répartition des tâches de la montée entre les opérateurs (organisation A vs. organisation B) ;

- la stratégie adoptée pour monter la puissance : dilutions seules vs. dilutions et grappes ;
- les aides à la préparation et à la réalisation mises en place par l'organisation.

L'organisation B des équipes de conduite semble donner de meilleures performances en terme de productivité et de sûreté (Couix et al., 2009). La stratégie par dilution et extraction des grappes améliore, a priori, la productivité à niveau de sûreté équivalent (notamment en permettant de stabiliser la tranche rapidement ce qui diminue la durée des paliers). Enfin, il apparaît que l'application de cette stratégie nécessite la mise en place d'une formation en simulateur et d'un accompagnement spécifique des opérateurs pendant le pilotage de la montée.

La durée totale de la montée en puissance ne dépend pas uniquement des opérateurs de salle de commande. De nombreux métiers sont impliqués dans le bon déroulement de ce transitoire sensible. La coordination, la préparation et la réalisation en temps voulu de ces différentes activités semblent être des pistes non négligeables pour réduire la durée de la montée en puissance. La pente (ou vitesse) de montée adoptée par les opérateurs (qu'elle provienne des consignes de conduite ou de la pente implantée dans le limiteur) n'est donc qu'un des facteurs de la durée de la montée en puissance et une des voies de son optimisation.

Sur ce dernier point, l'outil d'aide informatique développé dans le cadre d'APTS propose des avancées. Les fonctions prévues permettent de soutenir des parties importantes de l'activité cognitive des opérateurs. Il conviendrait également que l'outil appuie les opérateurs dans la réalisation d'autres pans de leur activité. Par exemple, le suivi de l'écart entre P0 et puissance réelle et le suivi des dilutions en vue d'analyser le comportement du réacteur.

Annexe E : Validation des besoins identifiés

Le tableau E.1 présente une partie des besoins identifiés au cours des premières analyses de terrain et soumis à validation des opérateurs via questionnaire. Pour chaque item, les opérateurs devaient indiquer leur niveau d'accord (de « pas du tout d'accord » à « tout à fait d'accord »). De manière générale, l'ensemble des besoins identifiés a été validé par les opérateurs.

N°	Besoins identifiés
1	La difficulté centrale de la montée en puissance est d'augmenter, en parallèle, P1 et P2 tout en maintenant un écart faible entre les deux (en gardant un écart Tm-Tref minimal).
2	Selon le niveau de puissance, le comportement du réacteur change, les dilutions n'ont pas toujours le même effet, il faut alors réévaluer le rythme de dilution.
3	Il est difficile de connaître avec exactitude, l'impact de certaines régulations automatiques au secondaire (par exemple, l'ouverture des GSS, le basculement des VPU) sur la puissance.
4	Ces régulations sont rarement rencontrées, utilisées, en conduite normale, à pleine puissance.
5	Pour surveiller l'écart entre P0 et la référence du limiteur, il faut comparer ces valeurs, ce qui n'est pas évident vu qu'elles ne sont pas forcément présentes simultanément dans le champ visuel.
6	La limite du DPax dépend du niveau de puissance. Il faut donc comparer régulièrement ces deux valeurs. La difficulté est que nous ne disposons pas des valeurs limites de DPax simultanément à la valeur réelle.
7	Lors des phases de montée, il est difficile de prédire finement l'évolution du DPax et notamment le moment précis de sa stabilisation (pour carte de flux) à l'arrivée au palier.
8	Après 50% Pn, pour avoir une pente de montée « lisse », le limiteur doit être recalé de manière régulière et systématique.
9	Nous sommes fréquemment interrompus par des demandes des autres métiers, des agents de terrain, de la maintenance, etc. que ce soit par téléphone ou en salle de commande.
10	En plus de la montée en puissance, nous avons de nombreux EP indépendants de la montée à réaliser.
...	...

TABLEAU E.1 – Exemples de besoins identifiés au cours des premières analyses de terrain.

Annexe F : Exemple de maquette d'interface

La figure F.1 présente la maquette d'une des versions de l'interface conçue par l'ergonome du projet APTS.

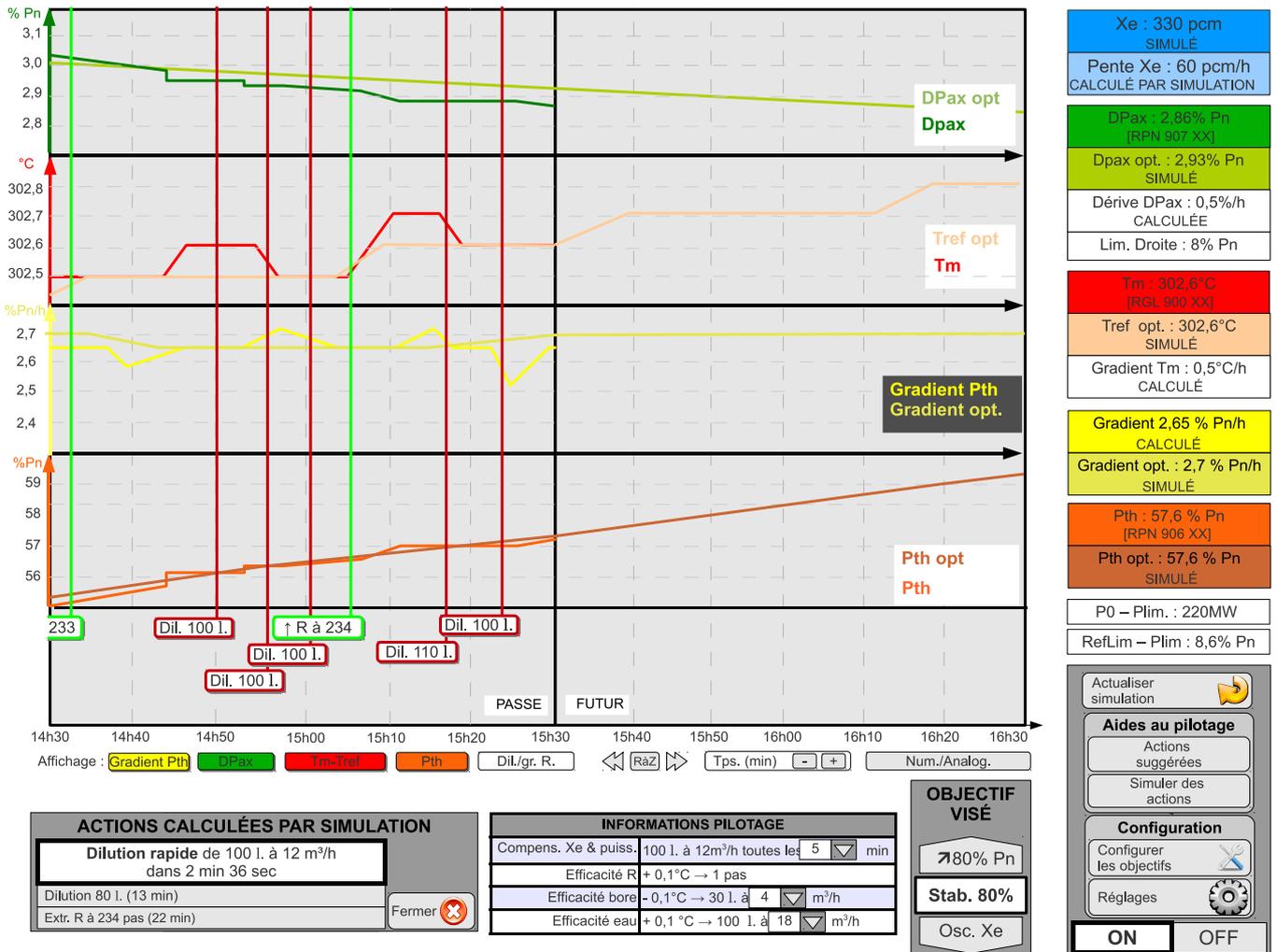


Figure F.1 – Maquette d'une des versions de l'interface du système conçu dans APTS.

Annexe G : Source des évolutions selon la date

DatesM	Ergonome	Ingénieur	Utilisateur
24 juin 2009	2	4	
2 juillet 2009	5		
6 juillet 2009	3		5
18 août 2009	7		
31 août 2009	3		1
8 septembre 2009	6		
15 septembre 2009	1	1	
6 octobre 2009	19		
4 novembre 2009	1	1	
14 novembre 2009	3		
25 novembre 2009		3	
9 décembre 2009	9		
16 décembre 2009	3		12
5 janvier 2010	32		
13 janvier 2010		1	
25 février 2010		5	
3 mars 2010	3		
16 mars 2010	1		
29 mars 2010	1		
29 avril 2010	12		
27 mai 2010	2	1	
10 juin 2010	4		
21 juin 2010	2	1	16
4 septembre 2010	35		
28 septembre 2010	2		
10 octobre 2010	1		
19 octobre 2010	1	2	
12 novembre 2010	21		
12 janvier 2011	5	14	
12 février 2011	12		
3 mai 2011			44
5 mai 2011	2		

TABLEAU G.1 – SOURCE des évolutions selon la DATE (en nombre).

Annexe H : Nombre brut d'évolutions par type de point d'évolution selon la source

	Ergonome	Ingénieur	Utilisateur
Observations	6	0	6
Réunion avec utilisateurs	3	1	64
Réunion de conception	14	24	0
Réunion développement maquette	2	6	0
Séance de travail individuel	170	0	0

TABLEAU H.1 – SOURCE des évolutions selon le type de POINT D'ÉVOLUTION (en nombre).

	Ergonome	Ingénieur	Utilisateur
Observations	-0,24	-1	1,11
Réunion avec utilisateurs	-0,93	-0,86	2,98
Réunion de conception	-0,44	5,03	-1
Réunion développement maquette	-0,62	6,16	-1
Séance de travail individuel	0,52	-1	-1

TABLEAU H.2 – Taux de liaison entre la SOURCE des évolutions et le type de POINT D'ÉVOLUTION (basés sur les effectifs bruts).

Annexe I : Nombre brut d'évolutions par type de point d'évolution selon le type d'action sur le cahier des charges

	Ajout	Modification	Suppression
Observations	6	2	4
Réunion avec utilisateurs	7	10	51
Réunion de conception	28	6	4
Réunion développement maquette	6	1	1
Séance de travail individuel	67	83	20

TABLEAU I.1 – ACTION d'évolution selon le type de POINT D'ÉVOLUTION considéré (en nombre).

	Ajout	Modification	Suppression
Observations	0,54	-0,29	-0,24
Réunion avec utilisateurs	-0,68	-0,37	0,7
Réunion de conception	1,27	-0,32	-0,76
Réunion développement maquette	1,31	-0,47	-0,72
Séance de travail individuel	0,21	1,08	-0,73

TABLEAU I.2 – Taux de liaison entre l'ACTION d'évolution et le type de POINT D'ÉVOLUTION lors desquels elles ont lieu (basés sur les effectifs bruts).

Annexe J : Analyse des évolutions refusées : ACM sur les variables critère, source, évaluateur, dimension et point d'évolution

Dans cette annexe nous détaillons l'ensemble des résultats de l'analyse en composantes multiples sur les variables SOURCE, CRITÈRE, DIMENSION et ÉVALUATEUR de la troisième étude empirique.

	Dim 1	Dim 2
Évaluateur Ergonome	-0,904849841942477	0,105486998727962
Évaluateur Ingénieur	0,995334826136725	-0,116035698600757
Source Ergonome	0,739262586266287	-0,928657929594719
Source Ingénieur	-0,448806270387072	-0,342374663149802
Source Utilisateur	0,135275761052312	0,849500460840886
Technique	0,848896618878551	-0,162194043666156
Utilisabilité	-1,01223148297436	-0,200717549765622
Utilité	-0,22777946089479	3,59059242821831
Fonctionnelle	0,403967700664185	0,408733517248809
Interface	-1,09863508922367	-0,461608905968545
Opérationnelle	1,42141660829774	-0,836769932602948

TABLEAU J.1 – Coordonnées des modalités sur les deux axes retenus pour l'analyse en composantes multiples.

	Dim 1	Dim 2
Évaluateur Ergonome	16,4628037684439	0,422429167431794
Évaluateur Ingénieur	18,1090841452882	0,46467208417497
Source Ergonome	3,99590847804875	11,9051500627271
Source Ingénieur	3,31373998330573	3,64090280284519
Source Utilisateur	0,267601193164811	19,9241849462415
Technique	14,489732885676	0,998678792942903
Utilisabilité	16,8562233744957	1,25134350200489
Utilité	0,0948390528662253	44,4933966463541
Fonctionnelle	3,57958448848002	6,91870941779998
Interface	15,4441161197105	5,14765862480328
Opérationnelle	7,38636651052015	4,83287395267424

TABLEAU J.2 – Contributions des modalités aux deux axes retenus pour l'analyse en composantes multiples.

	Dim 1	Dim 2
Évaluateur Ergonome	0,900628560109658	0,0122402575906963
Évaluateur Ingénieur	0,900628560109658	0,0122402575906962
Source Ergonome	0,128590393283087	0,202918952988035
Source Ingénieur	0,151070301254065	0,0879153074752052
Source Utilisateur	0,0112612501712506	0,444092943365463
Technique	0,792688016497779	0,0289375985808568
Utilisabilité	0,768459431343359	0,0302156510879363
Utilité	0,00259417414027605	0,644617699278934
Fonctionnelle	0,217586537573212	0,222750784163443
Interface	0,603499529636752	0,106541391034738
Opérationnelle	0,212676334141541	0,0737035705377202

TABLEAU J.3 – Cosinus² des modalités sur les deux axes retenus pour l'analyse en composantes multiples.

Annexe K : Analyse des évolutions refusées : ACM sur les variables critère, source, évaluateur et dimension

Dans cette annexe nous détaillons l'ensemble des résultats de l'analyse en composantes multiples sur les variables SOURCE, CRITÈRE, DIMENSION et ÉVALUATEUR de la troisième étude empirique.

	Dim 1	Dim 2
Évaluateur Ergonome	-0,904849841942477	0,105486998727962
Évaluateur Ingénieur	0,995334826136725	-0,116035698600757
Source Ergonome	0,739262586266287	-0,928657929594719
Source Ingénieur	-0,448806270387072	-0,342374663149802
Source Utilisateur	0,135275761052312	0,849500460840886
Technique	0,848896618878551	-0,162194043666156
Utilisabilité	-1,01223148297436	-0,200717549765622
Utilité	-0,22777946089479	3,59059242821831
Fonctionnelle	0,403967700664185	0,408733517248809
Interface	-1,09863508922367	-0,461608905968545
Opérationnelle	1,42141660829774	-0,836769932602948

TABLEAU K.1 – Coordonnées des modalités sur les deux axes retenus pour l'analyse en composantes multiples.

	Dim 1	Dim 2
Évaluateur Ergonome	16,4628037684439	0,422429167431794
Évaluateur Ingénieur	18,1090841452882	0,46467208417497
Source Ergonome	3,99590847804875	11,9051500627271
Source Ingénieur	3,31373998330573	3,64090280284519
Source Utilisateur	0,267601193164811	19,9241849462415
Technique	14,489732885676	0,998678792942903
Utilisabilité	16,8562233744957	1,25134350200489
Utilité	0,0948390528662253	44,4933966463541
Fonctionnelle	3,57958448848002	6,91870941779998
Interface	15,4441161197105	5,14765862480328
Opérationnelle	7,38636651052015	4,83287395267424

TABLEAU K.2 – Contributions des modalités aux deux axes retenus pour l'analyse en composantes multiples.

	Dim 1	Dim 2
Évaluateur Ergonome	0,900628560109658	0,0122402575906963
Évaluateur Ingénieur	0,900628560109658	0,0122402575906962
Source Ergonome	0,128590393283087	0,202918952988035
Source Ingénieur	0,151070301254065	0,0879153074752052
Source Utilisateur	0,0112612501712506	0,444092943365463
Technique	0,792688016497779	0,0289375985808568
Utilisabilité	0,768459431343359	0,0302156510879363
Utilité	0,00259417414027605	0,644617699278934
Fonctionnelle	0,217586537573212	0,222750784163443
Interface	0,603499529636752	0,106541391034738
Opérationnelle	0,212676334141541	0,0737035705377202

TABLEAU K.3 – Cosinus² des modalités sur les deux axes retenus pour l'analyse en composantes multiples.

Stanislas COUX
L'ERGONOME CO-CONCEPTEUR :
QUELLE CONTRIBUTION À L'ANALYSE DES BESOINS
DANS LA CONCEPTION DE SYSTÈMES INFORMATIQUES
INDUSTRIELS ?

Résumé :

Un des buts de l'ergonomie est de participer à la conception des systèmes humain-machine. Il est largement reconnu que la contribution de l'ergonomie doit intervenir le plus tôt possible dans le processus de conception, depuis la découverte des besoins des utilisateurs jusqu'à la définition des exigences et des spécifications de conception, c'est-à-dire dès l'analyse des besoins.

L'objectif de la thèse est d'analyser notre propre participation, en tant qu'ergonome co-concepteur, à l'analyse des besoins d'un projet de conception d'EDF R&D concernant un nouveau système informatique pour le pilotage de réacteurs nucléaires. Au cours de celui-ci, nous avons collaboré avec les ingénieurs du projet et les futurs utilisateurs dans la définition des différents aspects du système (fonctionnel, organisationnel, opérationnel, interaction et physique) à travers la formulation d'exigences et de spécifications. Cette collaboration s'est cristallisée à travers la rédaction du cahier des charges final.

Outre l'observation de notre intervention dans le projet, trois études empiriques ont été menées. Dans chacune d'elles, notre rôle spécifique à différentes étapes de l'analyse des besoins est analysé par rapport aux rôles des ingénieurs et des utilisateurs. La première étude détaille notre contribution à l'identification et à la formalisation des exigences. La seconde étude analyse notre concours à la rédaction des spécifications. Enfin, la troisième étude met en lumière notre participation à l'évolution de la première version des exigences et des spécifications jusqu'à leur version définitive.

L'ensemble de ces travaux indique plusieurs résultats importants. Premièrement, contrairement à ce qu'indique la littérature, les étapes de l'analyse ergonomique des besoins sont plutôt réalisées en parallèle que de manière séquentielle. Deuxièmement, l'ergonome va privilégier des contacts différents selon les acteurs et les phases de l'intervention. Il sera davantage en contact avec les futurs utilisateurs lors de l'identification des besoins et surtout en lien avec l'équipe de conception lors des phases de spécification. Cependant, dans ces phases ultérieures, les séances de travail avec les utilisateurs font plus évoluer le système que les autres séances de travail. Troisièmement, les études montrent que les différents acteurs impliqués ont un domaine d'expertise spécifique, mais complémentaire, aussi bien pour définir les exigences que les spécifications. Par exemple, dans la définition des spécifications, l'ergonome va formuler les éléments du système accessibles à l'utilisateur alors que les ingénieurs vont spécifier les éléments techniques nécessaires au fonctionnement, mais inaccessibles aux utilisateurs. Enfin, les résultats indiquent que l'ergonome ne s'appuie pas uniquement sur les éléments recueillis lors des analyses de terrain pour produire des exigences et des spécifications. Les analyses de terrain ont surtout été utilisées pour justifier les aspects fonctionnels, organisationnels et opérationnels du système. A contrario, les éléments de l'interface du système proviennent plutôt de son expertise.

Enfin, nous proposons une méthode ergonomique d'analyse des besoins. Par rapport aux méthodes actuelles, celle-ci met davantage l'accent sur les aspects collectifs de ce type d'intervention et détaille les apports de l'ergonome à la définition des différentes dimensions d'un système.

Mots clés : analyse des besoins, ergonomie, co-conception, systèmes informatiques