

La prise en compte des FHO dans le projet de conception d'un système à risques

François Daniellou

Edition coordonnée par Caroline Kamaté



n° 2013-05

THÉMATIQUE

Les facteurs humains
et organisationnels
de la sécurité

LA *Fondation pour une culture de sécurité industrielle* (Foncsi) est une Fondation de Recherche reconnue d'utilité publique par décret en date du 18 avril 2005. La Foncsi finance des projets de recherche autour des activités à risque, et souhaite favoriser **l'ouverture et le dialogue entre l'ensemble des acteurs** (administrations, associations, collectivités, équipes de recherche, entreprises, organisations syndicales, *etc.*).

L'originalité de sa démarche repose sur l'**interdisciplinarité** de ses travaux, en France et à l'international, ainsi que sur sa volonté affirmée d'**innover et d'anticiper les enjeux de demain**.

La Foncsi s'est fixé quatre missions :

- Faire émerger les nouvelles idées et les pratiques innovantes
- Développer, soutenir et financer la recherche
- Contribuer à l'essor d'une communauté de recherche
- Rendre accessibles les connaissances à l'ensemble du public



Fondation pour une Culture de Sécurité Industrielle

Fondation de recherche, reconnue d'utilité publique

<https://www.foncsi.org/>

6 allée Émile Monso – BP 34038
31029 Toulouse cedex 4
France

Twitter : @LaFonCSI
Courriel contact@foncsi.org

Abstract

Title Les facteurs humains et organisationnels dans le projet de conception d'un système à risques

Keywords human and organizational factors, ergonomics, design project, industrial safety

Author François Daniellou

Publication date July 2013

A Human and Organisational Factors (HOF) approach to project planning and design aims to improve decisions by anticipating the consequences of technical and organisational choices on the human activity that will take place in future operations. To foster efficient and safe work, the HOF approach is based on in-depth analysis of human activity in existing situations combined with simulation of probable activity in future operations, based on planned technical and organisational choices.

The approach requires project owners to express their requirements clearly, good coordination with design and engineering contractors, and participation of various stakeholders, in particular from operations. The integration of a HOF approach should start at Front End Engineering and continue until the final project review.

About the author

FRANÇOIS DANIELLOU is a Professor of Ergonomics at the École nationale supérieure de cognitive of the *Institut polytechnique* in Bordeaux, France. He has extensive experience of high-risk industries (nuclear, chemical, *etc.*). He is a member of the Prevention and Precaution Committee at the French environment ministry.

To cite this document

Daniellou, F. (2013). *Les facteurs humains et organisationnels dans le projet de conception d'un système à risques*. Number 2013-05 of the *Cahiers de la Sécurité Industrielle*, Foundation for an Industrial Safety Culture, Toulouse, France (ISSN 2100-3874). Freely available at <http://www.foncsi.org/>.

Titre Les facteurs humains et organisationnels dans le projet de conception d'un système à risques

Mots-clefs facteurs humains et organisationnels, ergonomie, projet de conception, sécurité industrielle

Auteur François Daniellou

Date de publication juillet 2013

Une démarche Facteurs Humains et Organisationnels (FHO) en conception vise à fiabiliser les décisions, en anticipant les conséquences des choix techniques et organisationnels sur le **travail humain** qui se déroulera dans les conditions d'exploitation futures. Pour favoriser des interventions humaines performantes et sûres, la démarche FHO se base sur une analyse approfondie de l'activité humaine dans les situations existantes, et sur une simulation de l'activité probable lors des futures opérations, en fonction des options techniques et organisationnelles qui se dessinent.

Elle suppose la mise en place d'une maîtrise d'ouvrage forte, porteuse de la volonté, une articulation précise avec la maîtrise d'œuvre, et une participation de différents acteurs, notamment exploitants. Les étapes de la démarche FHO doivent être planifiées dès le début de l'avant-projet et s'étendent jusqu'à l'évaluation après démarrage.

À propos de l'auteur

FRANÇOIS DANIELLOU est professeur d'ergonomie à l'École nationale supérieure de cognitive de l'Institut polytechnique de Bordeaux. Il a une grande expérience des industries à risques (nucléaire, chimie, etc.). Il est membre du Comité de la Prévention et de la Précaution du Ministère chargé de l'écologie.

Pour citer ce document

Daniellou, F. (2013). *Les facteurs humains et organisationnels dans le projet de conception d'un système à risques*. Numéro 2013-05 des *Cahiers de la Sécurité Industrielle*, Fondation pour une Culture de Sécurité Industrielle, Toulouse, France (ISSN 2100-3874). DOI : [10.57071/398epw](https://doi.org/10.57071/398epw). Disponible gratuitement à l'adresse foncsi.org.

Dans la même collection

Les *Cahiers de la sécurité industrielle* sont disponibles et librement téléchargeables sur les sites internet de l'Icsi : icsi-eu.org et de la Foncsi foncsi.org

- 2014-04 *FHOS : l'analyse approfondie d'événement*
Groupe de travail « Amélioration du processus d'analyse d'incidents » de l'Icsi, avril 2014
- 2014-03 *Fattori umani e organizzativi della sicurezza industriale*
François Daniellou, Marcel Simard, Ivan Boissières, avril 2014
- 2014-02 *Compétences en sécurité*
Groupe d'échange « Compétences en sécurité » de l'Icsi, avril 2014
- 2014-01, *Quelques bonnes questions à se poser sur son dispositif de REX*
Groupe de travail REX de la Foncsi, mars 2014
- 2013-12, *Case studies in uncertainty propagation and importance measure assessment*
Enrico Zio, Nicola Pedroni, décembre 2013
- 2013-11, *A field study of group decision-making in health care*
Juliane Marold, Ruth Lassalle, Markus Schöbel and Dietrich Manzey, novembre 2013
- 2013-10, *Introduction à la résilience territoriale : enjeux pour la concertation*
Antoine Le Blanc et Irénée Zwarterook, décembre 2013
- 2013-09, *La concertation sur les risques industriels : 10 pistes d'amélioration*
Antoine Le Blanc, Nicolas Grembo, Christophe Gibout et Irénée Zwarterook, décembre 2013
- 2013-08, *Les PPRT dans le Dunkerquois : des artifices d'une concertation obligée à la construction de compromis*
Nicolas Grembo, Antoine Le Blanc, Christophe Gibout et Irénée Zwarterook, décembre 2013
- 2013-07, *Fatores humanos e organizacionais da segurança industrial : um estado de arte*
François Daniellou, Marcel Simard, Ivan Boissières, août 2013
- 2013-06, *Leadership in safety : industrial practice*
Icsi Working group "Leadership in safety", July 2013
- 2013-05, *Les facteurs humains et organisationnels dans le projet de conception d'un système à risques*
François Daniellou, juillet 2013
- 2013-04, *Factores humanos y organizativos de la seguridad industrial : un estado del arte*
François Daniellou, Marcel Simard, Ivan Boissières, julio 2013
- 2013-03, *Literature review of methods for representing uncertainty*
Enrico Zio and Nicola Pedroni, April 2013
- 2013-02, *Mise/Remise à disposition d'équipement : pratiques industriels de consignations électriques, mécaniques, de fluides et voies de circulation*
Groupe d'échange « Consignation » de l'Icsi, mars 2013
- 2013-01, *Gestion des connaissances et fiabilité organisationnelle : état de l'art et illustration dans l'aéronautique*
Colin Lalouette, mars 2013
- 2012-10, *Overview of risk-informed decision-making processes*
Enrico Zio and Nicola Pedroni, November 2012
- 2012-09, *La concertation sur les risques industriels : 10 questions*
Marie-Gabrielle Suraud, octobre 2012

- 2012-08, *L'épreuve de la décision. Le PPRT ou l'art de concilier les enjeux de sécurité et de développement*
Emmanuel Martinais, juin 2012
- 2012-07, *Uncertainty characterization in risk analysis for decision-making practice*
Enrico Zio, Nicola Pedroni, May 2012
- 2012-06, *L'apport des théories du sensemaking à la compréhension des risques et des crises*
Hervé Laroche, Véronique Steyer, mai 2012
- 2012-05, *Decision-making in groups under uncertainty*
Juliane Marold, Ruth Wagner, Markus Schöbel and Dietrich Manzey, April 2012
- 2012-04, *REX et données subjectives : quel système d'information pour la gestion des risques ?*
Céline Tea, avril 2012
- 2012-03, *Les facteurs humains et organisationnels de la sécurité industrielle : des questions pour progresser*
François Daniellou, avril 2012
- 2012-02, *La démocratie pratique raisonnable, nouveau dispositif de concertation : guide d'aide à la mise en œuvre*
Odile Piriou et Pierre Lénéel, mars 2012
- 2012-01, *La Conférence Riveraine de Feyzin : évaluation d'un dispositif original de concertation sur les risques industriels*
Odile Piriou et Pierre Lénéel, mars 2012
- 2011-09, *Control and accountability in highly automated systems*
Eric Marsden and NeTWork'2011 participants, novembre 2011
- 2011-08, *Résilience et management de la sécurité : pistes pour l'innovation en sécurité industrielle*
Éric Rigaud, novembre 2011
- 2011-07, *Leadership en sécurité : pratiques industrielles*
Groupe de travail « Leadership In Safety » de l'Icsi, octobre 2011
- 2011-06, *Approches de l'incertitude et son impact sur la décision*
Équipes du programme « Pratiques de la décision en situation d'incertitude » de la Foncsi, octobre 2011
- 2011-05, *Industries à risques technologiques : un enjeu de société à négocier ?*
Groupe d'échange « Vers un contrat social négocié » de l'Icsi, octobre 2011
- 2011-04, *Les PPRT : où en sommes-nous ? Point de vue des élus*
Amaris/ Icsi, octobre 2011
- 2011-03, *L'ouverture au public : vers un changement des pratiques du REX ?*
Éric Chauvier, Irène Gaillard et Alain Garrigou, juillet 2011
- 2011-02, *Coûts et bénéfices de l'usage des nanoparticules d'argent dans les réfrigérateurs*
Rémy Tello, Éric Marsden, Nicolas Treich, juillet 2011
- 2011-01, *Human and organizational factors of safety : state of the art*
François Daniellou, Marcel Simard, Ivan Boissières, juin 2011
- 2010-09, *Externalisation de la maintenance et sécurité : une analyse bibliographique*
Dounia Tazi, décembre 2010
- 2010-08, *La Conférence Riveraine de Feyzin : un modèle pratique de démocratie participative*
Odile Piriou et Pierre Lénéel, novembre 2010
- 2010-07, *Les risques et pollutions industriels sur le territoire dunkerquois : des perceptions à la « concertation »*
Collectif Irénée Zwarterook, juillet 2010
- 2010-06, *Impact d'une catastrophe sur l'avenir d'un site industriel urbain. Les cas de Lyon et Toulouse*
Marion Cauhopé, François Duchêne et Marie-Christine Jaillet, juillet 2010
- 2010-05, *Analyse comparée des pratiques de REX entre l'industrie chimique et l'industrie nucléaire*
Safiétou Mbaye, septembre 2010

- 2010-04, *La Conférence Riveraine de Feyzin : conception et mise en place*
Odile Piriou et Pierre Lénéel, mai 2010
- 2010-03, *Le partage social du risque comme impératif de gestion ? Le cas de l'industrie à risque aux portes de Marseille*
Stephan Castel, Pierrick Cézanne-Bert et Mathieu Leborgne, mai 2010
- 2010-02, *Les facteurs humains et organisationnels de la sécurité industrielle : un état de l'art*
François Daniellou, Marcel Simard, Ivan Boissières, mars 2010
- 2009-10, *Les relations professionnelles de la sécurité industrielle : le REX comme outil de médiation ?*
Patrick Chaskiel, septembre 2009
- 2009-09, *Fréquence des événements initiateurs d'accident*
Groupe d'échange « Fréquence des événements initiateurs d'accident et disponibilité des barrières de prévention et de protection » de l'Icsi, août 2009
- 2009-08, *Le retour d'expérience : processus socio-cognitifs dans l'explication des dysfonctionnements*
Safiétou Mbaye, Rémi Kouabenan et Philippe Sarnin, septembre 2009
- 2009-07, *Débats lors du forum IFIS 2008*
René Amalberti, Laurent Magne, Gilles Motet et Caroline Kamaté, juillet 2009
- 2009-06, *Analyse coût-bénéfices : guide méthodologique*
Valérie Meunier et Éric Marsden, décembre 2009
- 2009-05, *La norme ISO 31000 en 10 questions*
Gilles Motet, avril 2009
- 2009-03, *La concertation : changements et questions*
Marie-Gabrielle Suraud, Françoise Lafaye, Mathieu Leborgne, avril 2009
- 2009-02, *Études de dangers et ouverture au public*
Groupe d'échange « Ouverture et études de dangers » de l'Icsi, mai 2009
- 2009-01, *Évaluation du « juste besoin » en matière de maîtrise du risque incendie*
Groupe d'échange « Incendie » de l'Icsi, janvier 2009
- 2008-05, *Facteurs socio-culturels du REX : sept études de terrain*
Équipes du programme de recherche REX de la Foncsi, novembre 2008
- 2008-04, *À quoi faut-il penser, vis-à-vis de la sécurité, avant la décision éventuelle de sous-traiter ?*
Groupe d'échange « Sous-traitance » de l'Icsi, novembre 2008
- 2008-03, *L'Analyse Coût-Bénéfices en 10 questions*
Nicolas Treich, avril 2006
- 2008-02, *État des pratiques industrielles de REX*
Olivier Gauthey, novembre 2008
- 2008-01, *Analyse bibliographique des facteurs socio-culturels de réussite du retour d'expérience*
Irène Gaillard, février 2008

Avant-propos

Pour maîtriser les risques industriels, les entreprises ont développé, depuis de nombreuses années, des mesures centrées sur l'amélioration continue de la fiabilité des installations et la mise en place de systèmes de management de la sécurité. Tout en maintenant leur engagement sur ces deux piliers, elles font aujourd'hui de la prise en compte des facteurs humains et organisationnels un levier complémentaire de progrès.

L'Institut pour une culture de sécurité industrielle (Icsi) et la Fondation pour une culture de sécurité industrielle (Foncsi) ont fait de la prise en compte des facteurs humains et organisationnels un des axes majeurs de leur stratégie commune de développement de la culture sécurité. Une première étape a consisté à proposer une vision renouvelée de la sécurité à travers une synthèse des connaissances scientifiques, notamment empruntées aux sciences humaines et sociales. Elle s'est traduite par la publication du Cahier : « Facteurs humains et organisationnels de la sécurité industrielle, un état de l'art » [Daniellou et al. 2010] suivie, en 2012, du Cahier, « Facteurs humains et organisationnels de la sécurité industrielle, des questions pour progresser » [Daniellou 2012].

Ce troisième cahier complète cette vision en ciblant un champ particulier d'action : les projets de conception / modification d'installations.

Nombreux sont les exemples de projets coûteux à mettre en place, ou en échec, de changements difficiles à implanter. . . Il arrive même que des organisations aient pu se trouver en péril à cause de leur incapacité de mener à bien un projet d'évolution technique et/ou organisationnel. Face à cette problématique, ce cahier invite toutes les parties prenantes des projets et de la sécurité (salariés et leurs représentants, managers et membres de direction d'entreprises, experts sécurité, etc.) à anticiper l'impact des choix techniques et organisationnels sur les conditions futures de travail.

Considérant que la fiabilisation des prises de décisions favorisera les interventions humaines performantes et sûres, il encourage la mise en place d'une maîtrise d'ouvrage forte, porteuse de la volonté, une articulation précise avec la maîtrise d'œuvre, et une participation de différents acteurs dès le début de l'avant-projet et jusqu'à l'évaluation après démarrage.

Ce cahier est le résultat d'un processus désormais rodé et qui a mobilisé de nombreux acteurs :

1. La Foncsi a d'abord sélectionné François Daniellou, dont les recherches constituent des références, et financé son laboratoire dans le cadre de son appel à proposition « Vulnérabilités techniques, humaines, organisationnelles et recherche de sécurité ».
2. Des représentants des adhérents de l'Icsi, venant d'horizons divers (responsables industriels, représentants syndicaux, spécialistes issus d'instituts de recherche ou d'expertise, ...) se sont réunis au sein d'un Groupe de travail de l'Icsi sur les facteurs humains et organisationnels dans les projets¹.
3. L'auteur a rédigé un texte sur la base de son expertise et de son expérience.

¹Groupe de travail issu du Groupe d'échanges « Facteurs humains et organisationnels de la sécurité » de l'Icsi.

Au final, ce nouveau Cahier propose des enjeux majeurs mais aussi des points de vigilance et des bonnes pratiques ; bref, des repères concrets à intégrer dans la conduite de projet par toutes les personnes convaincues que l'amélioration de la culture de sécurité passe aussi par une meilleure prise en compte du rôle de l'homme et de l'organisation.

Toulouse, le 30 juin 2013
Myriam PROME-VISINONI, Icsi

Les travaux présentés dans ce rapport sont issus d'un projet de recherche financé par la Foncsi. Caroline Kamaté ², en accord avec l'auteur en a coordonné la mise en pages. Les propos tenus ici n'engagent cependant que leur auteur.

²Merci également à Clotilde Gagey pour avoir retravaillé certaines des figures.

Remerciements

Ce document a bénéficié des contributions :

- du Groupe de travail « Facteurs humains et organisationnels en conduite de projet » de l'Icsi :
 - ▷ Philippe Agnès, Air France
 - ▷ Christine Bécard, Air-Liquide
 - ▷ Hervé Halluin, Areva
 - ▷ Bernard Heldt, SIAAP
 - ▷ Jean-Paul Labarthe, EDF R&D
 - ▷ Jérôme Lalouette, SNCF
 - ▷ Brigitte Le Guilcher, EDF R&D
 - ▷ Alain Le Mouel, SNCF
 - ▷ Tirzah Moreno, GDF Suez
 - ▷ Marie-Noëlle Obrist, SNCF
 - ▷ Myriam Promé, Icsi
 - ▷ Jean-Luc Rué, CFDT
 - ▷ Frédéric Teitgen, Total
- des chargés de mission de l'Icsi
- et de Stanislas Couix, Nathalie De Beler, Francisco Duarte, Florence Grand, Loïc Grosdemouge, Jérôme Grall, Valérie Lagrange, Samuel Le Gal, Sylvie Martin-Boulineau, Safietou MBaye, Vanina Mollo, Thierry Morlet, Raoni Rocha, Sonia Sutter et Jesús Vilena.

Merci à tous.

Table des matières

Avant-propos	xi
Synthèse	1
Introduction	3
I La structuration du projet : une condition pour intégrer les FHO	7
1 La constitution de la maîtrise d’ouvrage et les objectifs du projet	9
1.1 Constituer un collectif de maîtrise d’ouvrage	9
1.2 La planification technique du projet	10
1.2.1 Un projet typique	10
1.2.2 Le projet typique n’existe pas	14
1.3 Enrichir les objectifs du projet	15
1.3.1 Les objectifs d’amélioration de l’existant	15
1.3.2 La compatibilité avec d’autres projets	16
1.3.3 Les objectifs relatifs aux produits	16
1.3.4 Les objectifs environnementaux, l’opinion publique et les collectivités territoriales	16
1.3.5 Le « dossier hommes-organisations » : une étape obligée	16
1.3.6 Les enjeux du phasage	17
1.3.7 Les objectifs en matière de conduite de projet	17
1.4 Assurer une présence continue de la maîtrise d’ouvrage dans le projet	18
1.4.1 Substance et cohérence du projet	18
1.4.2 Le profil du CPMO	18
1.5 L’information-consultation des instances représentatives du personnel	19
1.6 Planifier toutes les dimensions du projet	20
2 L’articulation entre maîtrise d’ouvrage et maîtrise d’œuvre	23
2.1 La dynamique volonté-faisabilité	23
2.2 Les missions de la maîtrise d’œuvre	25
2.3 La qualité de l’interface maîtrise d’ouvrage / maîtrise d’œuvre	25
2.3.1 Une équipe de projet	26
2.3.2 D’autres appuis	26
2.4 En résumé : la structuration d’ensemble du projet	26

3	Les bénéfices attendus et les conditions de réussite de la démarche FHO	29
3.1	Les bénéfices attendus par la maîtrise d’ouvrage et notamment la direction du site	29
3.1.1	Une fiabilisation du système sociotechnique global	29
3.1.2	Une meilleure maîtrise du démarrage et du budget	30
3.1.3	Une diminution de l’incertitude sur la sécurité industrielle	30
3.1.4	Une meilleure circulation de l’information	30
3.1.5	Une convergence des mobilisations	30
3.1.6	Une diminution de la pénibilité et de l’accidentalité	30
3.2	L’organisation de l’approche FHO	31
3.2.1	Les compétences requises	31
3.2.2	Le positionnement des intervenants FHO	31
3.2.3	Le cadrage de la démarche FHO	32
3.2.4	L’allocation de ressources	32
3.3	La contractualisation FHO de la maîtrise d’œuvre	33
3.4	Une association des exploitants	33
3.4.1	La présence d’exploitants expérimentés dans l’équipe projet	34
3.4.2	L’association des responsables d’exploitation actuels	34
3.4.3	L’association des futurs exploitants	34
3.4.4	Les conditions d’une approche participative	35
II	La démarche FHO	37
4	Du travail actuel au travail futur, les étapes FHO en conception	39
4.1	Différentes dimensions d’une approche FHO	39
4.2	Les étapes d’une contribution FHO dans le projet	40
4.2.1	Avant-projet	40
4.2.2	Études de base	40
4.2.3	Études de détail	41
4.2.4	Chantier	41
4.2.5	Épreuves et essais	41
4.2.6	Démarrage, évaluation du projet et passage à l’exploitation ordinaire	41
5	Les méthodes d’une intervention FHO dans un projet	43
5.1	La connaissance du projet	43
5.2	L’analyse des situations existantes	44
5.2.1	Plusieurs types de « situations de référence »	44
5.2.2	La compréhension du travail prescrit et l’analyse des traces du fonctionnement à travers le REX	44
5.2.3	La compréhension de l’activité réelle	45
5.3	Le recensement des « situations d’exploitation »	45
5.4	Les repères FHO pour la conception technique	46
5.4.1	L’explicitation des situations d’exploitation	46
5.4.2	Les spécifications ergonomiques	47
5.4.3	Prévoir les besoins ultérieurs de la démarche FHO	48
5.5	Les simulations de l’activité future	48

5.5.1	Différents niveaux de questionnement	49
5.5.2	Des simulations progressives et itératives	49
5.5.3	Les deux grands types de simulations	49
5.5.4	Les « ingrédients » de la mise en place de simulations	50
5.5.5	Le déroulement de la simulation	53
5.5.6	Les résultats de la simulation	55
5.5.7	Un exemple : la mise à l'épreuve d'hypothèses organisationnelles	56
5.5.8	D'autres résultats des simulations	57
5.5.9	Les effets sur la formation	57
5.5.10	Les effets sur l'écriture des procédures	58
6	La formation	59
6.1	Préparer aux situations futures	59
6.2	Planifier les actions de formation	60
6.3	Faire pour apprendre	60
6.4	Sélection et habilitation	61
III	Le chantier et le démarrage	63
7	La préparation et le déroulement du chantier	65
7.1	Conception et organisation du chantier	65
7.1.1	La sécurité et les conditions de travail sur le chantier	65
7.1.2	La préparation et la communication du phasage	66
7.1.3	L'accueil des entreprises de construction et de montage	66
7.1.4	La coordination de chantier	66
7.1.5	Les visites de chantier	67
7.1.6	Les épreuves et essais	67
7.2	Les revues pré-démarrage	67
7.3	Les risques de l'inauguration	67
8	Le démarrage, l'évaluation du projet et le passage à l'exploitation ordinaire	69
8.1	La présence lors du démarrage	69
8.1.1	Dépasser les évaluations négatives	69
8.1.2	Les erreurs de jeunesse	69
8.2	Finir le démarrage	70
8.3	Évaluer le projet	70
8.4	Poursuivre la dynamique FHO	71
A	Annexe 1	
	Un exemple : l'architecture de la salle de contrôle	73
B	Annexe 2	
	Un exemple : la conception des vues de conduite et des alarmes	77
	Liste des abréviations	81
	Bibliographie	83

Synthèse

L'ENTREPRISE envisage d'investir pour créer ou modifier une installation de production, dont on sait qu'elle peut présenter des risques pour les salariés, l'environnement et la population générale. La sécurité industrielle sera donc une préoccupation constante dans la conception de cette installation, qui va être jalonnée par des études de danger, des analyses de risques, des revues de sécurité.

Mais quelle sécurité ? Trop souvent, l'approche se limite à recenser les phénomènes physiques et chimiques indésirables que l'on sait prévoir par le calcul, et à s'en prémunir par la conception des installations, les automatismes, et la rédaction des procédures.

Or la sécurité se joue dans le quotidien de l'exploitation. Dans le travail des femmes et des hommes, opérateurs et encadrement de production et de maintenance, salariés organiques ou des entreprises prestataires, qui vont surveiller, conduire, régler, maintenir l'installation. Ils vont devoir gérer les situations qui ont été prévues et réglées par des procédures, mais aussi beaucoup d'autres, qui n'ont pas été anticipées aussi précisément. Pour ce faire, il leur faudra rechercher des informations, poser des diagnostics, agir sur des organes, se coordonner, contrôler le résultat de leurs actions.

Si cette activité n'a pas été favorisée dès le stade de la conception, certes les opérateurs « s'adapteront » : ils parviendront sans doute, tant bien que mal, à ce qu'un système conçu sans réflexion sur l'activité humaine assure une production ; mais à quel coût, à quel niveau d'efficacité et avec quels risques ? La sécurité industrielle peut être affaiblie, la santé et la sécurité au travail mises à mal, la productivité menacée.

Le système qui va être conçu n'est pas un système technique, c'est **un système socio-technique**, dont le bon fonctionnement reposera sur l'articulation entre l'activité humaine individuelle et collective et les processus techniques. Ce qui est en jeu est en fait **une vision globale de la performance** du futur système, qui intègre, au-delà des critères économiques et techniques, les différents autres déterminants qui peuvent concourir au bon fonctionnement durable de l'installation et à sa maîtrise par les femmes et les hommes qui la pilotent et qui y vivent, en situation normale ou en situation de crise.

La prise en compte des facteurs humains et organisationnels dans un projet vise à favoriser la conception d'un système exploitable de façon efficace et sûre, tant du point de vue de la sécurité industrielle que de celui de la santé sécurité du travail. Pour ce faire, il s'agit d'**anticiper le travail humain futur** qui va être déterminé par les choix techniques et organisationnels faits à toutes les étapes de la conception, d'évaluer les difficultés probables, et d'ajuster à temps les décisions de conception.

Cette réflexion par anticipation sur le travail ne relève pas d'une simple « revue d'ergonomie » à la fin des études de détail. Certaines options structurantes pour le travail humain se prennent très tôt dans le projet, et deviennent rapidement irréversibles. La réflexion sur le travail futur doit en fait s'exercer pendant l'ensemble du cycle de conception.

Pour structurer cette intégration des facteurs humains dans le projet, de grandes organisations ont publié des références de bonnes pratiques, par exemple l'*International Association of Oil and Gas Producers* (OGP)³, la *Federal Aviation Administration* (FAA)⁴, *ASTM International*⁵, l'*US Nuclear Regulatory Commission*⁶, etc. Certaines grandes entreprises ont également leurs propres standards de prise en compte des facteurs humains dans les projets⁷.

Le présent document vise à mettre à disposition de tous les acteurs du projet une description concrète des conditions de mise en place d'une démarche « facteurs humains et organisationnels » (FHO) en conception. Il est basé à la fois sur les résultats de trente ans de recherche

³Voir [OGP 2011].

⁴Voir : [FAA 2003]. Voir également les sites Facteurs humains d'Eurocontrol HIFA (*Human factors Integration in Future ATM Systems*) http://www.eurocontrol.int/hifa/public/subsite_homepage/homepage.html et d'*US Federal Aviation Administration : Human Factors Division* <http://www.hf.faa.gov/Portal/default.aspx>

⁵Voir : [ASTM 2007].

⁶Voir : [NUREG 2012]

⁷À titre d'exemple, la démarche mise en place dans une grande compagnie pétrolière fait l'objet d'un intéressant article [Seet et McLeod 2012].

internationale sur la conduite sociotechnique des investissements et sur l'expérience des membres du groupe de travail « FHO en conduite de projet » de l'Icsi⁸.

Définition

Qu'est-ce qu'une démarche FHO en conception ?

Il s'agit de fiabiliser les décisions de conception, en anticipant les conséquences des choix techniques et organisationnels sur le **travail humain** qui se déroulera dans les conditions d'exploitation futures. Pour favoriser des interventions humaines performantes et sûres, la démarche FHO se base sur une analyse approfondie de l'activité humaine dans les situations existantes, et sur une simulation de l'activité probable lors des futures opérations, en fonction des options techniques et organisationnelles qui se dessinent.

La réflexion sur les facteurs humains en conception ne remet pas en cause la méthodologie générale de mise en œuvre d'un projet ; elle la complète à chaque étape, on pourrait dire qu'elle se « tisse » avec elle. On ne modifie en général pas les propriétés principales d'un procédé, les caractéristiques intrinsèques d'un équipement ou d'une installation : on s'interroge ensemble et on cherche, étape par étape, du général au particulier, à définir « *comment va-t-on travailler dans l'installation ?* », en identifiant les situations normales, mais aussi les variabilités plausibles que les opérateurs auront à gérer. Cette anticipation soignée va souvent permettre de limiter les dérives techniques, les adaptations ou transformations ultérieures que l'on constate couramment et qui sont rarement prises en compte dans le coût global du projet.

En revanche, cette démarche modifie sensiblement le positionnement et le rôle des différents acteurs. D'une part — puisque le système est abordé non seulement par la technique, mais aussi par l'activité humaine individuelle et collective — cette approche nécessite d'**assurer la compétence de la maîtrise d'ouvrage et la prééminence de ses objectifs socio-techniques** par rapport à l'ingénierie, porteuse des enjeux techniques. D'autre part, cette approche est basée sur l'idée que personne n'a seul l'ensemble des compétences nécessaires : une confrontation des points de vue doit être organisée. Cela suppose d'identifier les compétences requises, de prendre le temps nécessaire pour définir et analyser ensemble les points à traiter et pour bâtir des compromis raisonnables. Mais pour que cet enrichissement de la réflexion n'affecte pas le planning global du projet, la démarche doit être précisément phasée, avec des jalons identifiés où s'effectuent les arbitrages multicritères.

Le document comprend trois parties :

1. La première porte sur **la mise en place des acteurs** : élargir les points de vue, identifier les compétences requises, associer les parties prenantes, structurer la relation entre maîtrise d'ouvrage et maîtrise d'œuvre — pour sortir de la logique de « cahier des charges » et évoluer vers une logique d'interaction continue tout au long du projet —, assurer les conditions de réussite de la démarche FHO et la planifier.
2. La seconde concerne **la démarche facteurs humains et organisationnels** : renforcer la qualité de la conception en anticipant les situations futures d'exploitation et le travail qu'elles nécessiteront ; développer les compétences des femmes et des hommes qui exploiteront l'installation ; favoriser la mise en place d'une organisation apprenante pour l'exploitation ultérieure.
3. La troisième concerne **la préparation du chantier et du démarrage** et les leçons que l'on peut tirer pour les projets ultérieurs.

⁸Groupe de travail issu du Groupe d'échanges « Facteurs humains et organisationnels de la sécurité » de l'Icsi.

Introduction

Ce document porte sur la prise en compte des facteurs humains et organisationnels (FHO) dans les projets d'investissements des industries à risque. Il fait suite à deux autres Cahiers de la sécurité industrielle :

- Facteurs humains et organisationnels de la sécurité industrielle : un état de l'art [Daniellou et al. 2010];
- Facteurs humains et organisationnels de la sécurité industrielle : des questions pour progresser [Daniellou 2012].

Il renvoie à ces deux Cahiers antérieurs sur de nombreux aspects. À la différence des précédents, on utilise ici l'expression *facteurs humains et organisationnels* (FHO) et non *facteurs humains et organisationnels de la sécurité industrielle* (FHOS) : la réflexion sur le travail futur à toutes les étapes de la conception contribue puissamment à la sécurité industrielle, mais elle a aussi bien d'autres effets, tels que l'amélioration des conditions de travail, la diminution de la pénibilité, l'amélioration des relations sociales, l'efficacité et la qualité de la production, etc.

Ce document vise à faciliter l'intégration des facteurs humains et organisationnels dans un projet de conception d'une installation à risques située en Europe ou sur un autre continent⁹. Il est conçu principalement pour un projet ayant toutes les caractéristiques suivantes :

- il s'agit d'un investissement de création et/ou de modification d'une installation industrielle, qui comporte des dimensions techniques et organisationnelles;
- il concerne un site unique¹⁰;
- des risques industriels sont connus et font l'objet d'une évaluation;
- l'investissement porte sur quelques dizaines à quelques centaines de millions d'euros.

Certains des éléments présentés ici pourront être utiles pour d'autres projets :

- projet d'investissement dit *greenfield* sur un terrain nu, avec création d'un nouveau site; projet d'investissement dit *brownfield* sur un terrain pollué par une installation antérieure;
- projet de déménagement d'un site de production;
- projet multi-site;
- projet de modification organisationnelle sans investissement matériel lourd;
- projet relatif à des modifications localisées d'équipements (« modifs »);
- projet d'investissement hospitalier;
- ...

Il appartiendra alors aux acteurs du projet d'évaluer et d'adapter les éléments de ce document qui restent utiles dans leur cas.

Les acteurs du projet, destinataires de ce document, sont :

- les responsables de direction générale et des services centraux qui définissent les lignes directrices en matière de conduite de projet;

⁹Les références législatives sont françaises, et devront être adaptées dans le cas d'un projet à l'international.

¹⁰Et l'équipe de projet travaille à proximité de celui-ci.

- les membres de la direction du site et de la maîtrise d'ouvrage ;
- les chefs de projet ;
- les responsables d'exploitation¹¹ de la future installation ;
- les responsables des ressources humaines ;
- les responsables HSE et ceux qui gèrent les relations avec les riverains et les collectivités territoriales ;
- les agents des tutelles (par exemple la Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement, DREAL) ;
- les membres des instances représentatives du personnel.

Ce document pourra aussi être utile aux étudiants en facteurs humains.

Il est conçu pour des entreprises où la dimension FHO des projets d'investissement est encore peu développée. Dans d'autres entreprises, beaucoup des points mentionnés ici correspondent à des pratiques déjà courantes. Dans ce cas, les acteurs concernés effectueront facilement la « traduction » des termes, dénominations, méthodes utilisés ici par rapport à ceux dont ils ont l'habitude.

Les objectifs de la prise en compte des FHO dans les projets

Ce que l'on veut favoriser

- un fonctionnement futur performant et sûr ;
- un système futur qui soit résilient (capable d'anticiper, de prévenir, de gérer positivement les écarts par rapport aux conditions nominales de fonctionnement) ;
- une capacité d'adaptation du système aux variations des contraintes de l'environnement, tout au long de son cycle de vie ;
- des conditions de travail satisfaisantes, pour les équipes de construction, de production et de maintenance ;
- la meilleure performance possible en matière de santé-sécurité du travail (prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles) pendant le chantier et en exploitation ;
- une gestion des carrières et des compétences tant pour le démarrage de l'installation que pour l'ensemble de son cycle de vie ;
- une acceptabilité du projet par les salariés, les riverains, l'opinion publique, les collectivités territoriales ;
- une qualité des relations sociales avec le personnel et les instances représentatives, pendant le projet, au moment du démarrage, et dans la suite de l'exploitation ;
- un dialogue amélioré avec les autorités de tutelle ;
- le respect du planning et du budget, notamment par un démarrage efficace à la date prévue.

Ce que l'on veut éviter : quelques écueils fréquents

- un démarrage retardé par des modifications de dernière minute, avec un dérapage budgétaire associé ;
- un système peinant à atteindre son fonctionnement nominal ;
- une multiplication d'accidents graves et/ou de malfaçons au cours du chantier ;
- des difficultés de maîtrise de l'installation par les équipes de production et de maintenance (fonctionnement sous-optimal, risques d'erreur) ;

¹¹Le terme *exploitation* désigne dans ce document l'ensemble production + maintenance + gestion des matières et produits.

- des opérations quotidiennes ou critiques rendues difficiles ou dangereuses par la conception des installations, engendrant des coûts de fonctionnement supérieurs aux prévisions¹² ;
- une organisation ne permettant pas d'arrêter les installations en toute sécurité si cela est nécessaire ;
- l'apparition de « murs démographiques » (temps de formation insuffisamment prévus pour avoir les effectifs habilités le jour dit, départs en retraite massifs et non anticipés peu après le démarrage) ;
- des tensions sociales et des grèves au cours du projet et au démarrage. L'insuffisance d'information et d'interaction avec les salariés – et leurs représentants – crée une difficulté de se représenter le futur système, ce qui sera attendu d'eux, l'accompagnement qu'ils vont recevoir, et finalement leur capacité à tenir leur futur poste. Cette déstabilisation psychologique vient renforcer d'autres préoccupations éventuelles relatives à l'emploi, aux statuts, *etc.*

L'analyse de nombreux projets industriels montre que **ces difficultés classiques sont en général dues à des défaillances dans la conduite du projet**. Bien que ces défauts et les démarches souhaitables soient très bien identifiés par la recherche internationale¹³, ces références sont encore largement méconnues dans certaines entreprises.

La prise en compte des FHO n'est donc pas seulement une affaire de contenu des spécifications : c'est la **structuration du projet** elle-même qui va favoriser ou freiner cette orientation. Il s'agit, de manière régulière et visible, de favoriser les interactions entre l'équipe projet et les différents acteurs concernés par le projet, qu'ils le soient de près (futurs exploitants) ou de plus loin (autres unités qui doivent de fait intégrer l'insertion de la nouvelle installation).

Les travers fréquents de la conduite de projet

Les projets débouchant sur un démarrage difficile ont souvent plusieurs des caractéristiques suivantes :

- La *fonction de maîtrise d'ouvrage du projet* n'est pas clairement définie ou ne regroupe pas toutes les compétences nécessaires.
- La maîtrise d'ouvrage définit des objectifs initiaux purement techniques et économiques, sans s'interroger sur l'activité des utilisateurs finaux.
- Elle confie la conduite du projet à la maîtrise d'œuvre (ingénierie), puis s'en remet à elle. La fonction maîtrise d'ouvrage n'est que faiblement identifiée et représentée pendant la phase de conception.
- Le projet est alors piloté à partir des seuls enjeux techniques et financiers ; les questions relatives à l'organisation, au recrutement et à la préparation des futurs opérateurs sont traitées tardivement, comme un résultat des orientations techniques retenues.
- Le travail réalisé dans les installations actuelles ou dans les pilotes industriels par les opérateurs d'exploitation, les difficultés et incidents qui y sont rencontrés sont peu analysés et pris en compte par l'ingénierie.
- Les spécifications « facteurs humains » sont peu présentes dans les cahiers des charges.
- La coexistence du chantier et des unités en fonctionnement (phasage) est étudiée à une phase tardive de la définition technique des nouvelles unités.
- Les futurs responsables d'exploitation sont désignés tard et/ou peu impliqués dans le projet.
- Les instances représentatives du personnel sont informées tardivement et de façon incomplète. Le débat social porte principalement sur les aspects statutaires et salariaux.

¹²Le document *Human factors engineering in projects* de OGP cité plus haut [OGP 2011] présente dans son annexe 1 de nombreux exemples de défauts de conception classiques conduisant à des difficultés d'exploitation, et dans son annexe 2 plusieurs accidents industriels ayant résulté d'une absence de prise en compte des FHO.

¹³L'approche sociotechnique de la conduite de projet a fait l'objet de nombreux développements dès les années 1985. Parmi les publications de l'époque, on peut notamment citer : [Laplace et Regnaud 1986; Riboud 1987; du Roy 1989; Daniellou 1987].

- Les futurs opérateurs de production et de maintenance prennent connaissance des procédés et des installations à un moment où le projet est presque figé. La constitution des équipes et la formation sont effectuées à une phase tardive du projet.
- Les études de danger et les analyses de risques sont principalement conduites du point de vue de la « sécurité réglée » : mise en place de barrières telles qu'automatismes et procédures. L'enjeu de la « sécurité gérée » (la disponibilité à tout moment de compétences de terrain pour faire face à une situation imprévue)¹⁴ est peu considéré. Les situations à risques sont identifiées et les procédures pour y faire face sont écrites par les experts du projet, sans interaction avec les équipes d'exploitation. Ces documents reflètent alors parfois des hypothèses de situations normées et de comportements formatés des opérateurs, qui ne correspondent pas à la réalité probable de l'exploitation.

Pour contribuer à une structuration plus favorable de la conduite de projet, ce document comprend les chapitres suivants :

- **Partie 1 : la structuration du projet, une condition pour intégrer les FHO**
 - ▷ Chapitre 1 : La constitution de la maîtrise d'ouvrage et la définition des objectifs du projet.
 - ▷ Chapitre 2 : L'articulation maîtrise d'ouvrage / maîtrise d'œuvre aux différentes étapes du projet.
 - ▷ Chapitre 3 : Les conditions de réussite de la démarche FHO.
- **Partie 2 : la démarche FHO**
 - ▷ Chapitre 4 : Du travail actuel au travail futur : les étapes FHO en conception. Vue d'ensemble de la démarche.
 - ▷ Chapitre 5 : Les méthodes d'une intervention FHO.
 - ▷ Chapitre 6 : La formation
- **Partie 3 : Le chantier et le démarrage**
 - ▷ Chapitre 7 : La préparation du chantier et du démarrage.
 - ▷ Chapitre 8 : Le démarrage, l'évaluation du projet et le passage à l'exploitation ordinaire.

¹⁴Pour la discussion sur « sécurité réglée / sécurité gérée », voir le Cahier « État de l'art », préambule et chapitre 7 [Daniellou et al. 2010].

Première partie

**La structuration du projet : une
condition pour intégrer les FHO**

La constitution de la maîtrise d'ouvrage et les objectifs du projet

En bref

La structuration initiale du projet est une condition essentielle de la fiabilisation des choix de conception. Le chapitre 1 souligne l'importance d'une maîtrise d'ouvrage forte, représentant les différentes logiques vitales pour le succès du projet. La construction d'objectifs larges, reflétant la volonté de la maîtrise d'ouvrage pour le fonctionnement futur et intégrant les dimensions humaines et organisationnelles, est décrite.

La maîtrise d'ouvrage (MO) est l'instance pour le compte de laquelle le projet est réalisé. Cette définition conduit trop souvent à considérer la MO principalement dans son rôle de *payeur*, voire à la borner à une fonction de *client*. Or un couple qui fait construire sa maison n'est pas un simple *client* de l'architecte. Il lui revient de tenir tête à ce dernier pour que la maison ne soit pas seulement le reflet des partis pris esthétiques ou techniques du maître d'œuvre, mais bien qu'elle offre des conditions de vie correspondant aux souhaits des propriétaires. En fait, c'est à la MO qu'il revient de **définir une volonté concernant le futur, de traduire celle-ci en objectifs** dans de nombreux domaines, **de fournir les ressources** pertinentes, **d'assurer** tout au long du projet **les arbitrages** nécessaires entre objectifs et ressources, et **d'évaluer la réalisation finale**.

Dans un projet industriel, il importe donc de distinguer :

- une maîtrise d'ouvrage stratégique, c'est-à-dire le niveau de décision — en général au siège — qui peut, en vue de la réalisation d'objectifs techniques et économiques, débloquer le financement (souvent considérable) de l'investissement ;
- et une **maîtrise d'ouvrage opérationnelle**, qui va être chargée de représenter l'entreprise pour incarner pendant tout le projet la volonté qui lui a donné naissance. Dans la suite, nous nous intéresserons principalement à cette maîtrise d'ouvrage opérationnelle, qui doit assurer le pilotage politique du projet, en rendant compte et en sollicitant l'arbitrage de la maîtrise d'ouvrage stratégique sur des questions clés.

1.1 Constituer un collectif de maîtrise d'ouvrage

Par la constitution du groupe de maîtrise d'ouvrage opérationnelle, l'entreprise se met en ordre pour traiter les grandes questions qui vont conditionner la réussite ou l'échec du projet :

- la performance globale du système, à travers l'ensemble de son cycle de vie : les conditions de sa conception, du chantier, de son exploitation, de son évolution, de son démantèlement final ;
- le respect des objectifs, des délais et du budget ;
- la compatibilité technique et culturelle des solutions retenues avec l'existant du site ;
- les choix organisationnels ;

- la gestion des ressources humaines, le recrutement et la formation ;
- la qualité des produits fabriqués et leur adéquation aux demandes des clients ;
- la sécurité industrielle et la sécurité du travail ;
- le respect de l'environnement ;
- l'acceptabilité par les tutelles, les riverains, les collectivités territoriales ;
- l'interface avec les instances représentatives du personnel et les négociations sociales.

La composition du collectif de maîtrise d'ouvrage doit refléter la diversité de ces enjeux, en associant (de façon spécifique suivant les cas) :

- la direction du site concerné ;
- un ou des responsables d'exploitation (production et maintenance) ;
- un ou des représentants de la « maîtrise d'usage », quand les installations vont être exploitées par une entreprise différente de celle qui les possède¹ ;
- la fonction qualité ; parfois la fonction assurant de façon indépendante l'inspection de l'intégrité technique des installations ;
- la fonction HSE – à la fois dans son versant sécurité industrielle, notamment SMS, et dans son versant santé sécurité au travail ;
- l'interface avec les tutelles, les riverains, les associations et les collectivités territoriales ;
- la fonction « protection contre la malveillance, les intrusions, le terrorisme », intitulée *sûreté* dans les domaines chimique ou aéroportuaire et *protection de site* dans le domaine nucléaire ;
- une fonction technique capable d'assurer l'interface de la MO avec l'ingénierie (voir chapitre 2) ;
- la fonction ressources humaines ;
- parfois la fonction marketing ou assurant l'interface avec les clients ;
- parfois la fonction juridique ;
- le coordinateur de la démarche FHO (voir chapitre 3) ;
- ...

Cette diversité permet de représenter l'ensemble des logiques qui devront être prises en compte dans les objectifs du projet.

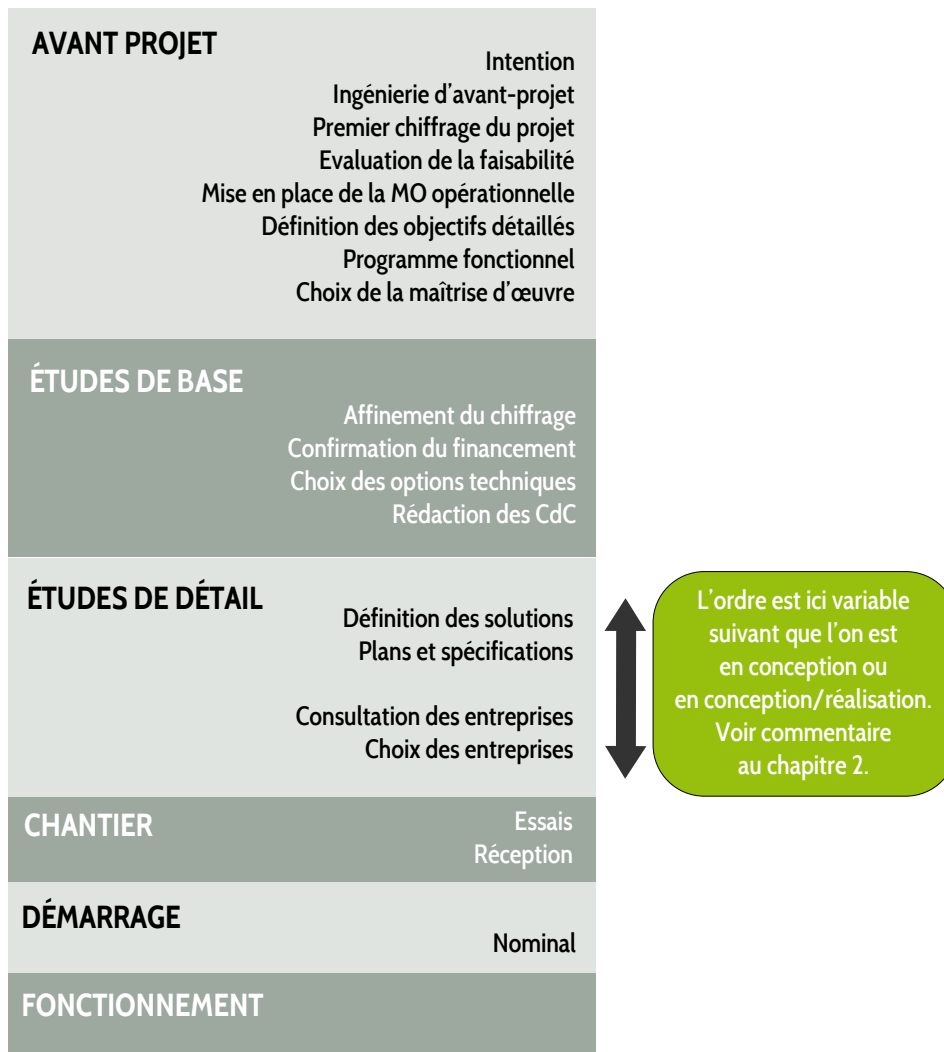
Compte tenu de cette nécessaire pluralité, il est probable (et souhaitable²) que des contradictions apparaissent au cours du projet entre les différents enjeux ainsi représentés. Il importe donc que la mise en place d'un collectif de maîtrise d'ouvrage donne lieu à la désignation de **l'arbitre** de ce groupe, qui sera souvent le directeur³ du site.

1.2 La planification technique du projet

Pour faciliter le repérage des missions de la MO à toutes les étapes du projet, nous présentons ici les étapes classiques de celui-ci. L'organisation de l'articulation entre la maîtrise d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre sera précisée au chapitre 2.

1.2.1 Un projet typique

Un grand projet d'investissement s'étend sur plusieurs années. L'organisation, le découpage en phases, et la dénomination des étapes de conception varient suivant les entreprises. La figure 1.1 présente une planification assez habituelle, qui servira de repère dans la suite du texte. Le nom et le contenu des étapes seront à adapter à chaque cas particulier. Les étapes

FIGURE 1.1 – *Planning typique d'un projet*

techniques sont présentées ici, l'introduction de la prise en compte des dimensions facteurs humains dans le planning sera décrite au chapitre 3.

L'**avant-projet** est en général réalisé à la demande de la maîtrise d'ouvrage stratégique. Il vise à estimer la faisabilité et la rentabilité possible d'un investissement envisagé. Les grandes options techniques possibles font l'objet d'une étude d'ingénierie d'avant-projet⁴. Une première évaluation de faisabilité et d'impact est réalisée, notamment en ce qui concerne :

- les risques industriels ;
- dans le cas des projets internationaux, la compatibilité avec la géographie, le climat, la culture, les institutions locales ;
- l'empreinte environnementale et sa remédiation⁵ ;
- d'éventuels effets sur le patrimoine (zones d'intérêt historique ou archéologique) ;
- les caractéristiques de la main d'œuvre disponible ;

¹Situation fréquente dans les domaines ferroviaire et aéroportuaire.

²La gestion consiste à faire tenir ensemble des logiques partiellement contradictoires, par des compromis arbitrés après instruction des différents enjeux. La censure des divergences de points de vue avant l'arbitrage est une source importante de risques.

³Les noms de fonctions sont utilisés au masculin pour des raisons rédactionnelles, ce qui ne préjuge évidemment pas du fait que chaque fonction soit tenue par une femme ou un homme.

⁴Désignée dans les textes anglo-saxons par l'acronyme FEED (*Front-End Engineering and Design*).

⁵Nécessité de compenser les atteintes portées à l'environnement (la biodiversité de la faune et la flore, etc.) tout au long du cycle de vie de l'installation, y compris son démantèlement.

- l'acceptabilité de l'installation par les populations, les collectivités et les autorités.

Si l'estimation se révèle positive, la maîtrise d'ouvrage va rédiger les objectifs du projet sous forme d'un « programme fonctionnel »⁶. Il est souhaitable que le collectif de maîtrise d'ouvrage opérationnelle décrit ci-dessus soit constitué à cette phase, de façon à enrichir au mieux les objectifs initiaux. Le programme d'ingénierie servira soit à lancer un appel d'offres à des ingénieries externes, soit à jeter les bases du travail d'une maîtrise d'œuvre interne (voir chapitre 2).

La courbe de Midler

L'avant-projet coûte une faible part du montant total de l'investissement. Les experts qui le conduisent doivent, pour estimer la rentabilité du système, faire des hypothèses (par exemple en matière d'effectif). Ces hypothèses sont, à ce stade, élaborées avec très peu d'informations ; mais, dans la mesure où elles conditionnent le calcul économique, elles seront difficiles à remettre en cause ultérieurement.

C'est le sens de la célèbre « courbe en ciseaux » de Christophe Midler [Midler 1993] :

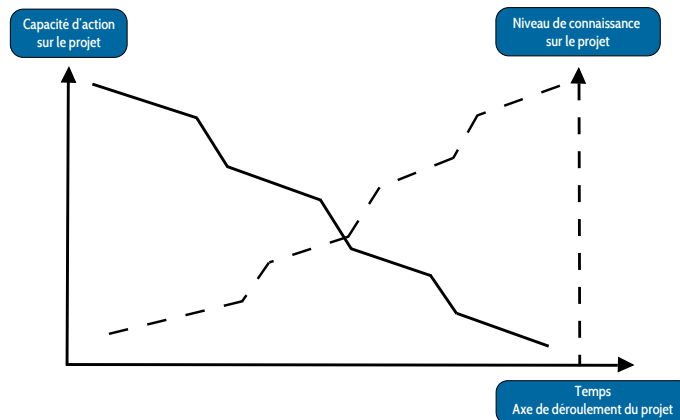


FIGURE 1.2 – La courbe en ciseaux de Midler

⁶Nous utilisons ici le terme « programme » pour ce document de la maîtrise d'ouvrage destiné à l'ingénierie, pour le distinguer des « cahiers des charges » qui seront ensuite rédigés par la maîtrise d'œuvre.

En début de projet, le niveau de connaissance est faible et les marges de manœuvre importantes (« *on peut beaucoup mais on ne sait pas grand-chose* »). En fin de projet, le niveau de connaissance est élevé, tandis que les marges de manœuvre sont très restreintes (« *on sait tout mais on ne peut plus grand-chose* »). Un moyen de limiter les effets de cette contradiction est d'**augmenter le niveau d'information par des compléments d'analyse avant la réalisation des chiffres préliminaires**.

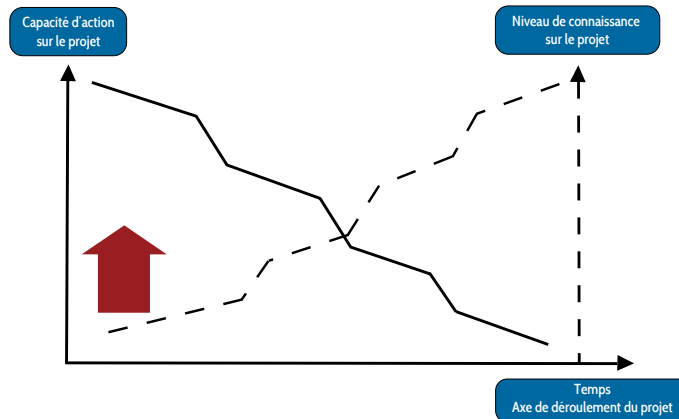


FIGURE 1.3 – Enrichir les hypothèses initiales

Le choix de la maîtrise d'œuvre marque le passage des études préliminaires aux études de base.

Les **études de base** sont conduites par la maîtrise d'œuvre (MŒ, chapitre 2). Sur la base du programme fonctionnel émis par la MO, la MŒ va étudier plusieurs options techniques, de façon à proposer un chiffrage affiné. Les études d'impact et de danger sont conduites de façon plus détaillée. Les grands choix techniques et d'implantation sont alors décidés, et le financement du projet est confirmé.

À titre d'exemple, les études de base peuvent coûter de l'ordre de 3% du montant total de l'investissement.

Les **études de détail** définissent tous les éléments du système avec un degré de précision qui permette leur réalisation. De très nombreux spécialistes de disciplines différentes travaillent en parallèle. Ils génèrent une énorme quantité d'information (plans, spécifications techniques...). C'est la phase la plus critique, où le risque de perte de cohérence entre les différents composants du système est le plus élevé si la coordination du projet est fragile.

Les études de détail sont très coûteuses (par exemple de l'ordre de 8% du montant total de l'investissement), et plus elles avancent, plus les choix deviennent quasi irréversibles. À l'issue des études de détail sont constitués les cahiers des charges de réalisation, la consultation et le choix des entreprises réalisatrices.

Le **chantier** comporte un double volet : des travaux, d'abord de génie civil, ont lieu sur le site. Dans le même temps, des sous-ensembles techniques sont assemblés chez les fournisseurs, pour être ensuite montés sur place. Il existe une grande différence entre le volet « génie civil » du chantier et le volet « génie mécanique ». Le montage mécanique réalise en général avec des tolérances précises les éléments décrits par les plans. En revanche, lors d'un chantier de génie civil, des difficultés de terrain peuvent conduire à des « adaptations » parfois assez importantes par rapport aux plans. Les tolérances ne sont pas du même ordre.

En général, cette phase nécessite le recours à un grand nombre d'intervenants, ce qui engendre une co-activité importante. La préparation et la coordination du chantier doivent contribuer à prévenir les risques correspondants (chapitre 7, page 65).

Les **épreuves et essais** visent à tester les différentes parties de l'installation, sans chercher à produire : par exemple, le fonctionnement des pompes et l'étanchéité des circuits vont être testés à l'eau. Ces essais contribuent notamment à la réception des installations qui conditionne le paiement des fournisseurs⁷.

Le **démarrage** commence le jour où l'on cherche pour la première fois à produire. Il s'étend jusqu'au moment où la production de l'installation est conforme en quantité et en qualité au **nominal** prévu dans le programme initial. L'installation est ensuite en fonctionnement, jusqu'à la prochaine modification importante.

La durée du démarrage est un indicateur majeur de la réussite du projet : lorsqu'une longue période d'ajustements et de mises au point est nécessaire pour atteindre le nominal, la rentabilité du projet est affectée, et ce d'autant plus que le « temps de retour sur investissement » cible était plus court.

1.2.2 Le projet typique n'existe pas

Bien évidemment, aucun projet ne se déroule paisiblement entre l'intention initiale et le fonctionnement stabilisé.

D'une part, un projet réel est constitué de différents sous-projets (par exemple génie civil, génie des procédés), qui évoluent à des rythmes distincts et peuvent connaître des retards différents : l'un peut être encore en études de base tandis que les études de détail sont avancées pour l'autre.

D'autre part, compte tenu de la durée d'un projet de grande ampleur, des événements extérieurs (prix des matières premières, évolution du marché ou de la réglementation, crise économique, difficultés techniques, apparition de surcoûts...) peuvent conduire la direction de l'entreprise à modifier les objectifs initiaux en cours de route. Beaucoup de projets connaissent ainsi des « retournements de situation » au cours de leur déroulement. Dans ce cas, les études ne peuvent pas être poursuivies en modifiant simplement les paramètres concernés. Un retour sur les hypothèses initiales est souvent nécessaire.

L'allure d'un projet réel ressemble souvent à la figure 1.4, qui montre la coexistence de plusieurs sous-projets, affectés chacun de retournements de situation.

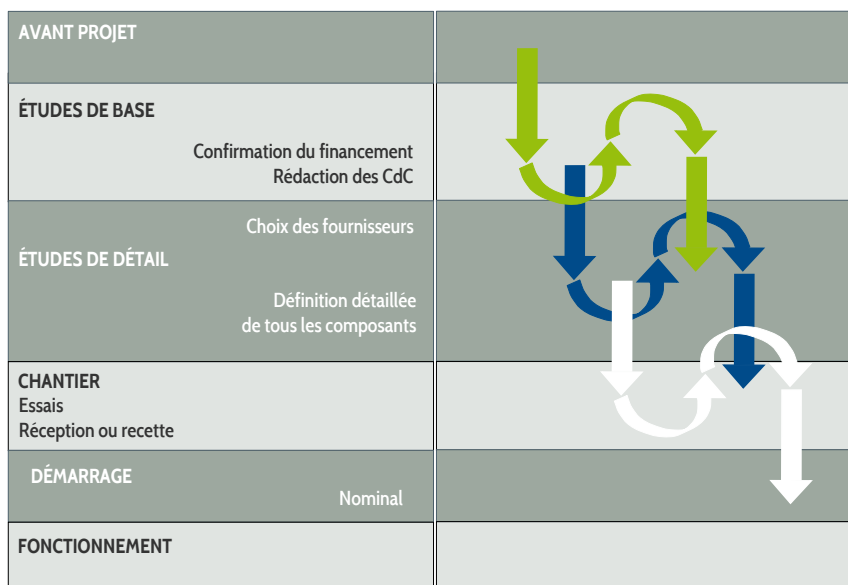


FIGURE 1.4 – Exemple de déroulement réel

⁷La réception associe contractuellement la vérification de la conformité des ouvrages et matériels, les épreuves et essais, la levée des réserves, la vérification tracée du bon fonctionnement et des performances nominales de l'installation. La réception conditionne ainsi le paiement complet des fournisseurs et la prise de « propriété » de l'installation.

La coordination du projet devient d'autant plus essentielle pour maintenir la substance et la cohérence du projet quand de telles turbulences apparaissent.

Le planning d'ensemble, régulièrement actualisé, doit être partagé par la maîtrise d'ouvrage, la maîtrise d'œuvre et les exploitants.

Après cette présentation d'ensemble du planning projet, reprenons l'examen des missions de la maîtrise d'ouvrage.

1.3 Enrichir les objectifs du projet

Le projet est un investissement technique, destiné à produire une quantité cible de produits ou de service (transports) à un niveau de qualité fixé et avec une rentabilité visée. Mais il n'est pas que cela. Il va introduire une **transformation sociotechnique⁸ du site**, qui ne peut être un simple sous-produit de la conception technique.

Par ailleurs, un investissement important représente un flux financier qui peut permettre de résoudre « au passage » quelques problèmes récurrents du site (en ce qui concerne par exemple des flux, des facteurs de risque...). Tout projet peut ainsi être l'occasion de « faire le ménage » sur quelques questions anciennes non résolues faute de moyens.

Les objectifs initiaux du projet, qui vont cadrer tout son déroulement, ne peuvent pas être seulement les objectifs quantitatifs de production et de rentabilité. Le premier **enrichissement des objectifs initiaux du projet** fait l'objet d'un travail approfondi du collectif de maîtrise d'ouvrage, préparé dans chacun des domaines par les responsables compétents. Il est essentiel que chacune des fonctions représentées dans la MO entende et débattre des contraintes apportées par les autres fonctions. La contribution spécifique de l'approche FHO sera présentée en détail page 32.

1.3.1 Les objectifs d'amélioration de l'existant

Un état des lieux approfondi⁹ portant sur les installations existantes permet l'identification des forces actuelles, qui doivent être sauvegardées par le projet¹⁰, et un recensement des difficultés connues, susceptibles d'être traitées à l'occasion du projet :

- enjeux HSE (plan général de circulation, accidentologie localisée, zones bruyantes, risques physico-chimiques, intervention des secours, nuisances générées par le site...);
- enjeux relatifs à la prévention de l'intrusion ou de la malveillance ;
- enjeux en matière de conditions de travail¹¹ et de vie (restauration, vestiaires...);
- enjeux de ressources humaines (population disponible, démographie, gestion des carrières et des âges, souhait de féminiser ou de masculiniser certaines professions...)¹²;
- identification de collectifs de métier en souffrance ou en crise ;
- identification de fournisseurs ou prestataires en difficulté ou en crise ;
- organisation s'étant révélée défaillante dans certaines situations critiques ;
- insatisfaction des clients sur des questions de conditionnement, de livraison, *etc.* ;
- tensions avec les riverains ou les collectivités territoriales, les services de l'état, la tutelle ;
- tensions sociales ;
- ...

⁸Ce ne sont pas seulement les dispositifs techniques qui vont être modifiés, mais aussi les interactions entre les systèmes techniques et la société humaine que représente une organisation, ainsi que les relations entre individus et entre groupes au sein de celle-ci.

⁹Dans certaines entreprises, la qualité du REX technique permet de l'utiliser comme point de départ pour cet état des lieux. Dans d'autres, le REX n'a pas été assez formalisé pour servir de base, et l'état des lieux doit être entièrement repris.

¹⁰Il faut en effet se prémunir de l'illusion que l'innovation est toujours meilleure que des techniques et des organisations longtemps mises au point.

¹¹En lien notamment avec les données sur la santé au travail et les travaux réalisés pour l'évaluation et la prévention de la pénibilité.

¹²Dans certains projets où un site est créé dans une zone isolée, il faut en plus s'interroger sur les conséquences en termes de transports, voire d'urbanisation (assainissement, scolarisation des enfants, système de soins...).

La maîtrise d'ouvrage peut décider que le traitement de certaines de ces questions fait partie intégrante des objectifs prioritaires du projet.

1.3.2 La compatibilité avec d'autres projets

Il n'est pas rare que plusieurs projets soient lancés en parallèle sur le même site. Leur conduite en parallèle donne souvent lieu à des interférences non maîtrisées. Le cadrage initial du projet doit permettre de détecter l'ensemble des autres projets avec lesquels il est susceptible d'interférer. Au besoin, un schéma directeur assurant la cohérence inter-projets doit être mis en place.

1.3.3 Les objectifs relatifs aux produits

L'installation qui va être réalisée fonctionnera de nombreuses années. Il est fréquent que des installations industrielles soient conçues uniquement en fonction des demandes des clients telles qu'elles s'expriment à l'enclenchement du projet. Trop peu d'anticipation sur des évolutions probables, pourtant connues du marketing, conduit souvent à des modifications coûteuses rapidement après le démarrage.

Les objectifs relatifs aux produits (nature, quantité, qualité, conditionnement, flux de livraison...) doivent intégrer une réflexion prospective, à la fois en termes de marketing et en termes réglementaires.

1.3.4 Les objectifs environnementaux, l'opinion publique et les collectivités territoriales

Les objectifs environnementaux d'un projet peuvent être le pur reflet de la réglementation et de ses évolutions prévisibles dans les années à venir. Mais, dans certains cas, l'entreprise peut aussi souhaiter gérer le projet de façon à renforcer son acceptabilité dans les domaines environnemental et sociétal, et pour améliorer ses relations avec les associations et les collectivités territoriales. La gestion de l'empreinte environnementale et l'intégration dans le tissu social local sont alors des dimensions prioritaires de certains investissements¹³.

Cela suppose d'identifier les parties prenantes et les ressources extérieures¹⁴ incontournables : expliquer les choix prévus et associer ces acteurs favorise l'acceptabilité de l'installation, une meilleure insertion dans le bassin d'emploi local, et permet de construire des compensations environnementales acceptables par tous.

1.3.5 Le « dossier hommes-organisations » : une étape obligée

Tout investissement majeur suppose une réflexion préalable sur la population et les organisations cibles. Certaines entreprises exigent qu'un « dossier hommes-organisations » soit présent dans le programme fonctionnel. Que ce soit ou non le cas, il est indispensable que cette réflexion soit conduite, pour identifier les données humaines et organisationnelles qui doivent être prises en compte, mais aussi pour fixer des principes directeurs pour l'exploitation future (niveaux d'automatisation, choix d'organisation).

Les contraintes issues de l'existant

- Pyramide d'âge, distribution des sexes, des métiers et compétences disponibles et des anciennetés¹⁵. Projection de ces distributions à trois ans et cinq ans.
- État des lieux des restrictions médicales d'aptitude et de l'emploi de personnes handicapées. Projection à trois et cinq ans.
- Analyse de la pénibilité, de l'absentéisme et de l'accidentologie dans l'installation existante.

¹³Nous renvoyons aux nombreux Cahiers de la sécurité industrielle sur le sujet, disponibles sur le site de l'Icsi, ainsi que sur celui de la Foncsi.

¹⁴Par exemple, équipe de recherche universitaire fortement impliquée dans le tissu local.

¹⁵En utilisant notamment les discussions conduites avec les partenaires sociaux sur la gestion prévisionnelle des emplois, des métiers et des compétences, sur la parité hommes-femmes, sur l'emploi des seniors.

- Recensement des collectifs de métier et de leur « état de santé », détection des évolutions nécessaires des métiers.
- Diagnostic des forces et faiblesses de l'organisation actuelle et de la culture de sécurité du site et de ses sous-traitants.

Le « delta d'innovation »

Certains investissements peuvent se traduire par une faible évolution par rapport aux technologies et procédés connus sur le site. D'autres projets, même plus limités, peuvent introduire un saut technologique et un choc culturel. Certains métiers peuvent disparaître, d'autres émerger. L'équipe de maîtrise d'ouvrage devra évaluer ce « delta d'innovation » pour définir les objectifs RH du projet et la politique d'accompagnement du changement.

Des objectifs pour le projet

- Fourchette d'effectifs envisagée par métier et catégorie de qualification.
- Objectifs en matière de développement des métiers, des compétences et des qualifications.
- Objectifs de recours à la main d'œuvre locale.
- Objectifs en matière d'emploi des seniors, des jeunes, des femmes et des hommes, des personnes handicapées ou à restriction médicale d'aptitude.
- Objectifs d'amélioration des conditions de travail et de réduction de la pénibilité.
- Objectifs dans le domaine organisationnel (par exemple, augmentation du périmètre d'action de certaines catégories professionnelles, organisation du travail posté, *etc.*).
- Objectifs de politique industrielle (périmètre de la sous-traitance), pour la conduite du chantier et en exploitation.

1.3.6 Les enjeux du phasage

installations aux anciennes ou le basculement des unes aux autres peuvent se révéler complexes. Dans certains projets, ces enjeux sont tellement importants qu'ils peuvent se traduire par des objectifs dimensionnants dès le début du projet.

1.3.7 Les objectifs en matière de conduite de projet

L'équipe de maîtrise d'ouvrage doit tirer les leçons des forces et faiblesses des projets précédents¹⁶, pour définir une forme de structuration du projet plus performante :

- Structuration de l'interface maîtrise d'ouvrage / maîtrise d'œuvre technique (voir chapitre 2).
- Désignation à temps et stabilisation professionnelle des principaux responsables pendant la durée du projet. Le turn-over inconsidéré d'acteurs clés est une des causes des difficultés rencontrées dans de nombreux projets.
- Définition et planification des étapes clés et des points de validation.
- Représentation des exploitants dans le projet.
- Information/consultation des instances représentatives du personnel.
- Intégration des facteurs humains et organisationnels à toutes les étapes (voir chapitres 3 et 4).
- Formalisation, vis-à-vis de la maîtrise d'œuvre, d'exigences relatives à la prise en compte des FHO.
- Définition par avance des formes d'évaluation du démarrage (voir chapitre 8).

¹⁶Ce qui suppose un REX des projets qui ne se limite pas à la technique mais porte aussi sur l'organisation des projets elle-même.

1.4 Assurer une présence continue de la maîtrise d'ouvrage dans le projet

Le collectif de maîtrise d'ouvrage a été constitué pour représenter toutes les logiques vitales pour la réussite du projet. Ce groupe de responsables ne pourra pas assurer une présence quotidienne dans les détails du projet. Il importe donc que la maîtrise d'ouvrage veille à être incarnée par un **chef de projet de maîtrise d'ouvrage (CPMO)**, qui représentera cette dernière au jour le jour dans l'ensemble des étapes de conception, et provoquera la réunion du collectif de maîtrise d'ouvrage chaque fois que cela sera souhaitable pour assurer les arbitrages nécessaires.

La fonction de chef de projet maîtrise d'ouvrage est distincte de celle de chef de projet en maîtrise d'œuvre : le CPMO est porteur de la volonté concernant le futur établie par la maîtrise d'ouvrage, et veille à son accomplissement à travers les solutions élaborées par la maîtrise d'œuvre.

1.4.1 Substance et cohérence du projet

Le projet comporte au moins les dimensions suivantes :

- l'implantation globale des principales composantes du projet ;
- la conception d'opérations de génie civil ;
- la définition d'équipements matériels ;
- la définition d'un système d'information, de matériels et logiciels informatiques¹⁷ ;
- la réflexion sur l'organisation future ;
- la préparation des futurs opérateurs et opératrices (recrutement, formation, habilitation) ;
- l'écriture des procédures ;
- la gestion de l'information et/ou consultation et/ou négociation avec des partenaires externes (associations, riverains, collectivités territoriales, tutelles) et internes (salariés et instances représentatives du personnel) ;
- l'organisation du phasage entre le fonctionnement actuel, l'organisation du chantier et le fonctionnement futur.

Un projet réussi est celui où **tous** ces aspects ont été traités de façon exhaustive et cohérente. L'échec relatif d'un projet peut résulter du traitement insuffisant d'**un seul** de ces volets.

La **substance** du projet est la prise en compte exhaustive de ces différentes questions. La **cohérence** du projet est la compatibilité entre les décisions prises dans les différents domaines, ce qui suppose d'assurer des interfaces entre eux, et une approche transversale.

Substance et cohérence du projet définissent le périmètre de la mission du chef de projet maîtrise d'ouvrage.

1.4.2 Le profil du CPMO

Compte tenu du caractère transversal de la mission du chef de projet maîtrise d'ouvrage, il n'est pas souhaitable que celui-ci ait un profil d'expert technique, de type maîtrise d'œuvre. Il doit avoir une expérience d'exploitation.

Une bonne solution consiste à nommer à l'avance le futur responsable de l'exploitation de la nouvelle unité, et d'en faire le CPMO : cette personne aura tout intérêt à ce que l'ensemble des dimensions techniques, humaines et organisationnelles soient traitées de façon cohérente à toutes les étapes du projet. Il faut cependant se prémunir du risque qu'il cherche à faire reproduire les solutions techniques et organisationnelles qu'il connaît le mieux : c'est l'enjeu des interactions avec le groupe multidisciplinaire de maîtrise d'ouvrage et des arbitrages de cette dernière.

Dans un projet important, la fonction de CPMO nécessite un plein temps. Dans un projet plus limité, il pourra s'agir d'une fonction à temps partiel.

¹⁷De plus en plus, les systèmes d'information concernés reposent sur les progiciels de gestion intégrée, qui articulent gestion de production, gestion commerciale, logistique, ressources humaines, comptabilité, contrôle de gestion...

1.5 L'information-consultation des instances représentatives du personnel

Prévoir l'information-consultation des instances représentatives du personnel (IRP) est une composante de la conduite du projet, et donc une responsabilité de la maîtrise d'ouvrage opérationnelle, quelle que soit la personne qui assurera ensuite concrètement cette interface. En France, le comité d'entreprise est informé et consulté sur les projets et décisions de l'employeur concernant

“ les conditions de travail résultant de l'organisation du travail, de la technologie, des conditions d'emploi, de l'organisation du temps de travail, des qualifications et des modes de rémunération. ”

Le CHSCT

“ est consulté avant toute décision d'aménagement important modifiant les conditions d'hygiène et de sécurité ou les conditions de travail et, notamment, avant toute transformation importante des postes de travail découlant de la modification de l'outillage, d'un changement de produit ou de l'organisation du travail, avant toute modification des cadences et des normes de productivité liées ou non à la rémunération du travail [Code du travail]. ”

Ces deux instances seront donc obligatoirement consultées sur tout projet d'investissement¹⁸.

Certaines entreprises ont une tradition d'information limitée ou tardive des instances représentatives du personnel, dans l'objectif de ne pas créer de mouvements sociaux susceptibles de perturber le déroulement du projet. Outre que cette position est contraire à la réglementation, elle produit régulièrement le contraire de l'effet attendu, avec une accumulation de difficultés sociales pendant le projet et au moment du chantier et du démarrage. Les zones d'ombre ne peuvent que susciter commentaires, rumeurs et craintes, qui ont une influence obligatoire sur le projet et sa mise en œuvre.

D'autres entreprises préfèrent assurer une information précoce et régulière des IRP. Si le CE ou le CHSCT décident, comme la loi le leur permet, de faire réaliser une expertise, celle-ci peut s'inscrire dans le calendrier global du projet. L'une des difficultés appréhendées par certains chefs d'établissement est le risque que s'ils annoncent des informations non encore définitives, ils soient ultérieurement accusés de délit d'entrave si l'évolution du projet conduisait à une modification de ces décisions. Mais rien n'empêche de présenter aux instances représentatives des **hypothèses à l'étude**, notamment dans le domaine organisationnel, en précisant bien qu'il s'agit d'*hypothèses* qui vont faire l'objet d'études complémentaires et de simulations (chapitres 3 et 4). Cette manière de travailler est nécessaire pour pouvoir mettre en œuvre une démarche participative associant le personnel. Elle permet aussi d'intégrer la réaction des instances lors des études ultérieures des hypothèses organisationnelles.

L'expérience d'interventions facteurs humains dans de grands projets montre que des chefs d'établissement, initialement réticents à mettre en circulation des informations non définitives, ont découvert à l'occasion d'un investissement les bénéfices de cette pratique, et l'ont ensuite généralisée : la négociation sociale se déroule de manière plus fluide, la participation des équipes concernées est favorisée, le calendrier du projet est potentiellement moins affecté.

¹⁸Tout particulièrement dans le cas des obligations classées, où l'avis du CHSCT doit figurer dans le dossier de demande d'autorisation d'exploiter.

Relations avec les IRP : quelques points-clés

Cet enrichissement du dialogue social autour d'un projet suppose un apprentissage de part et d'autre. À chaque étape, il s'agit d'assurer l'analyse des solutions proposées, le débat sur leurs avantages et inconvénients pour permettre les arbitrages quand cela est possible, mais aussi la prise en compte du fait que certaines contraintes ne sont pas négociables.

Les atouts suivants des élus des salariés et des représentants des organisations syndicales peuvent être valorisés :

- ils ont une bonne connaissance du site;
- ils connaissent les salariés du site mais aussi des responsables du groupe, ce qui facilite les interactions;
- ils sont un vecteur puissant de communication;
- ils peuvent apporter un angle de réflexion complémentaire sur le travail;
- les organisations interprofessionnelles ont des adhérents chez les sous-traitants et peuvent plus facilement faire remonter les difficultés ou améliorer des interfaces.

La concertation se fera d'autant mieux si les partenaires ont défini des enjeux communs, des objectifs communs et des formes d'interaction. Un processus de dialogue peut s'engager en cohérence avec les obligations d'information et de consultation des IRP, notamment en décidant de missions sur des sujets spécifiques établis conjointement, ou en déclenchant en fonction des besoins des réunions paritaires sur des sujets spécifiques, comme la promotion professionnelle, les évolutions de carrières, le changement d'horaires, de rythmes de travail...

Il est donc souhaitable que la maîtrise d'ouvrage dispose en son sein d'un acteur compétent pour piloter, tout au long du projet, l'interface avec les IRP.

1.6 Planifier toutes les dimensions du projet

La planification des étapes techniques de la conception est toujours effectuée de façon précise. En particulier, dans le cas d'une installation qui doit être connectée aux unités existantes, les travaux sont souvent programmés pour coïncider avec un grand arrêt pour maintenance de celles-ci.

En revanche, d'autres dimensions du projet sont parfois beaucoup moins précisément anticipées. Il serait souhaitable qu'au moins les aspects suivants soient intégrés **dès le début dans le planning du projet** :

- études de danger, analyse de risques (analyses HAZOP ou *what-if reviews*), préparation de la demande d'autorisation d'exploiter;
- mise en œuvre des mesures de compensation environnementale identifiées lors de l'avant-projet;
- préparation et dépôt de la demande d'autorisation d'exploiter;
- information et consultation des IRP, négociation sociale de l'organisation future, y compris éventuellement la réalisation d'une expertise demandée par le CE et/ou le CHSCT;
- analyses et simulations facteurs humains concernant le fonctionnement futur de l'installation (cadrage FHO, voir le chapitre 4);
- construction et simulation des hypothèses organisationnelles (voir les chapitres 4 et 5);
- recrutement anticipé des futures équipes et de l'encadrement, réalisation des formations et des habilitations;

- revue de projet pré-chantier ;
- revue de projet pré-démarrage (voir le chapitre 7).

L'articulation entre maîtrise d'ouvrage et maîtrise d'œuvre

En bref

La maîtrise d'œuvre est chargée de mettre en œuvre la volonté exprimée par la maîtrise d'ouvrage, en recherchant des solutions compatibles avec les contraintes et ressources fixées par celle-ci. Un bon déroulement du projet suppose une articulation à toutes les étapes entre la maîtrise d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre, pour permettre une construction progressive et collective du problème de conception. La qualité de cette interface repose notamment sur la nomination d'un Chef de projet de maîtrise d'ouvrage, réunissant autour de lui une équipe de projet dédiée.

L'étude détaillée des solutions techniques sera confiée à une maîtrise d'œuvre (MŒ), qui peut être interne (par exemple, ingénierie du groupe¹) ou externe (société d'ingénierie). La maîtrise d'œuvre conduit les études et coordonne la réalisation pour le compte de la maîtrise d'ouvrage.

La structuration du projet doit permettre d'assurer que **l'activité de la maîtrise d'œuvre est au service de la volonté exprimée par la maîtrise d'ouvrage**. Une maîtrise d'œuvre qui devient autonome du fait de la faiblesse de la maîtrise d'ouvrage est la cause principale des aléas des projets.

2.1 La dynamique volonté-faisabilité

Le processus de conception est souvent représenté sous une forme séquentielle, dans une logique de type « cahier des charges » :



FIGURE 2.1 – Le modèle classique de la conception

Selon ce modèle, la maîtrise d'ouvrage définirait exhaustivement ses objectifs et besoins en début de projet, ce qui permettrait à la maîtrise d'œuvre d'étudier des solutions qui remplissent l'ensemble des contraintes ainsi fixées. Ce modèle, qui structure par exemple le

¹Il importe de vérifier qu'elle n'est pas sous l'autorité hiérarchique de la maîtrise d'ouvrage, ce qui rendrait difficile l'articulation saine des deux points de vue, maîtrise d'ouvrage et maîtrise d'œuvre, telle qu'elle est décrite dans ce chapitre.

Code des marchés publics, ne correspond pas à la réalité du déroulement des processus de conception, ni au mode de raisonnement des acteurs.

Dans la réalité, après une première définition des objectifs par la maîtrise d'ouvrage, la maîtrise d'œuvre va commencer à en étudier la faisabilité, à rechercher des pistes de solutions. Cette première exploration va lui permettre de détecter des zones d'ombre, des contradictions, ou des écarts entre les objectifs fixés et les objectifs alloués. Il va alors lui falloir **se retourner vers la maîtrise d'ouvrage** pour obtenir précisions et arbitrages :

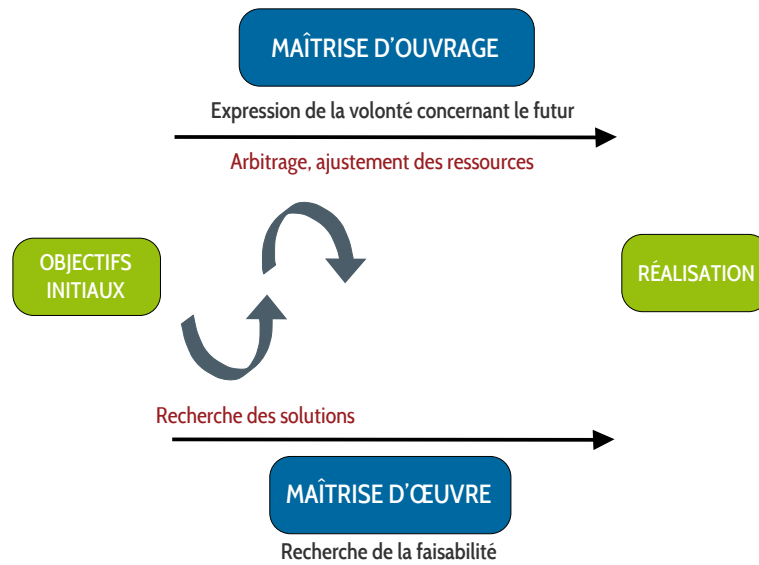


FIGURE 2.2 – Les premières interactions MO/ME

La maîtrise d'ouvrage peut clarifier sa volonté, supprimer des objectifs inatteignables avec les ressources prévues ou affecter de nouvelles ressources pour maintenir les objectifs. Cette alternance va se poursuivre tout au long du processus de conception, jusqu'à réalisation finale :

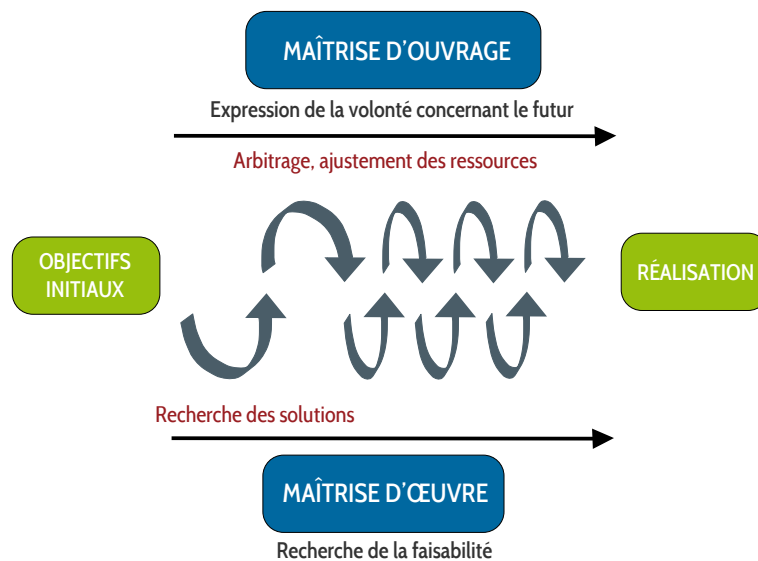


FIGURE 2.3 – La dynamique maîtrise d'ouvrage / maîtrise d'œuvre

C'est l'étude de solutions qui soulève des questions nouvelles, nécessite de faire préciser les objectifs, de lever des contradictions entre eux, et d'arbitrer entre objectifs et ressources.

Par exemple

Une solution technique peut être rejetée par la maîtrise d'ouvrage parce qu'elle induit une pénibilité trop importante, et que le maintien en emploi des travailleurs vieillissants est une de ses priorités (qu'elle n'avait peut-être pas formulée dans les objectifs initiaux). Ou bien, une solution qui paraît très satisfaisante à tous points de vue nécessite un complément de ressources, que la maîtrise d'ouvrage peut décider ou non d'allouer compte tenu des enjeux.

Le « problème de conception » ne peut pas être exhaustivement défini initialement, il se construit progressivement, à la rencontre entre la recherche par la maîtrise d'œuvre de solutions faisables et l'affinement de la volonté de la maîtrise d'ouvrage².

Lorsque la maîtrise d'ouvrage est forte et bien représentée, c'est elle qui assure les arbitrages nécessaires entre volonté et faisabilité. En cas de défaillance de la présence de maîtrise d'ouvrage, c'est la maîtrise d'œuvre qui répond aux questions qu'elle-même se pose : elle le fera souvent avec une compétence purement technique, au risque de sous-estimer les enjeux sociotechniques des solutions retenues.

2.2 Les missions de la maîtrise d'œuvre

La maîtrise d'ouvrage a le choix entre deux formes de recours à la maîtrise d'œuvre :

- un marché de conception : la maîtrise d'œuvre est missionnée pour réaliser les études, et la maîtrise d'ouvrage passera contrat directement avec les entreprises réalisatrices ;
- beaucoup plus fréquemment, un marché de conception-réalisation³ : la maîtrise d'œuvre est missionnée pour réaliser les études, sélectionner les entreprises et mener à bien le chantier ; c'est elle qui passera contrat avec les entreprises réalisatrices.

La répartition des études entre maîtrise d'œuvre et entreprises fournisseurs peut se dérouler de deux façons différentes, suivant le type de fourniture :

- dans certains cas, l'ingénierie va rédiger les cahiers des charges de consultation des entreprises fournisseurs (installations physiques, informatique de procédé...) à l'issue des études de base, et les entreprises retenues conduiront les études de détail. Dans cette situation, la puissance d'étude des entreprises fournisseurs est largement utilisée ;
- dans d'autres cas, si l'ingénierie dispose de compétences d'études sur tous les procédés concernés, c'est la MŒ qui va conduire les études de détail ; celles-ci déboucheront sur les cahiers des charges destinés aux entreprises qui conduiront le chantier. Dans cette situation, la puissance d'étude est concentrée au sein de la MŒ ;
- une combinaison de ces deux situations, suivant le type de fourniture, est fréquemment rencontrée.

La contractualisation des responsabilités de la MŒ relatives à la démarche FHO est évoquée page 33.

2.3 La qualité de l'interface maîtrise d'ouvrage / maîtrise d'œuvre

Comme indiqué au chapitre précédent, la première condition de bon fonctionnement de cette interface MO/MŒ est l'existence d'un **chef de projet maîtrise d'ouvrage** identifié et disponible, qui soit l'interlocuteur permanent de la maîtrise d'œuvre. Il sollicitera l'arbitrage du collectif de maîtrise d'ouvrage à des échéances prévues à l'avance, et chaque fois que nécessaire.

²D'après [Martin 2000].

³Dans les documents anglo-saxons, EPC (*Engineering, Procurement [passation de marché] and Construction*) contract.

2.3.1 Une équipe de projet

Pour assurer ses fonctions, le CPMO pourra faire appel aux différents services de l'entreprise (par exemple, DRH, HSE, achats, etc.). Mais il aura en général besoin aussi d'une **équipe de projet dédiée**. Celle-ci comprendra au moins :

- des spécialistes techniques, capables d'analyser les propositions de la maîtrise d'œuvre, leur compatibilité avec les objectifs fixés, leur chiffrage ;
- des compétences d'exploitation, permettant d'anticiper les conditions réelles d'opération des installations, **de préparer les hypothèses organisationnelles**, d'assurer la préparation des plans de formation, de coordonner la rédaction des procédures, etc. ;
- une compétence de planification et de contrôle des coûts ;
- des compétences environnement, facteurs humains (voir chapitre 3)...

Les compétences nécessaires dans cette équipe de projet et leur montée en puissance progressive seront planifiées dès le début. Une stabilité des personnes pendant la durée du projet sera assurée.

La maîtrise d'œuvre peut être géographiquement éloignée du site concerné. Il est essentiel en revanche que le chef de projet maîtrise d'ouvrage et l'équipe de projet soient localisés **sur le site** où sera implantée la nouvelle unité. Cette proximité géographique conditionne l'interface avec les exploitants, la qualité de la préparation et du suivi du chantier, et le déroulement du démarrage. La mise en place de locaux provisoires pourra être nécessaire.

2.3.2 D'autres appuis

Suivant les caractéristiques du projet, la maîtrise d'ouvrage peut faire appel à différents types de consultants internes ou externes, pour l'assister sur des aspects énergétiques, environnementaux, réglementaires, facteurs humains... Il est essentiel que le chef de projet maîtrise d'ouvrage ait une vision d'ensemble de la contribution de chacun.

2.4 En résumé : la structuration d'ensemble du projet

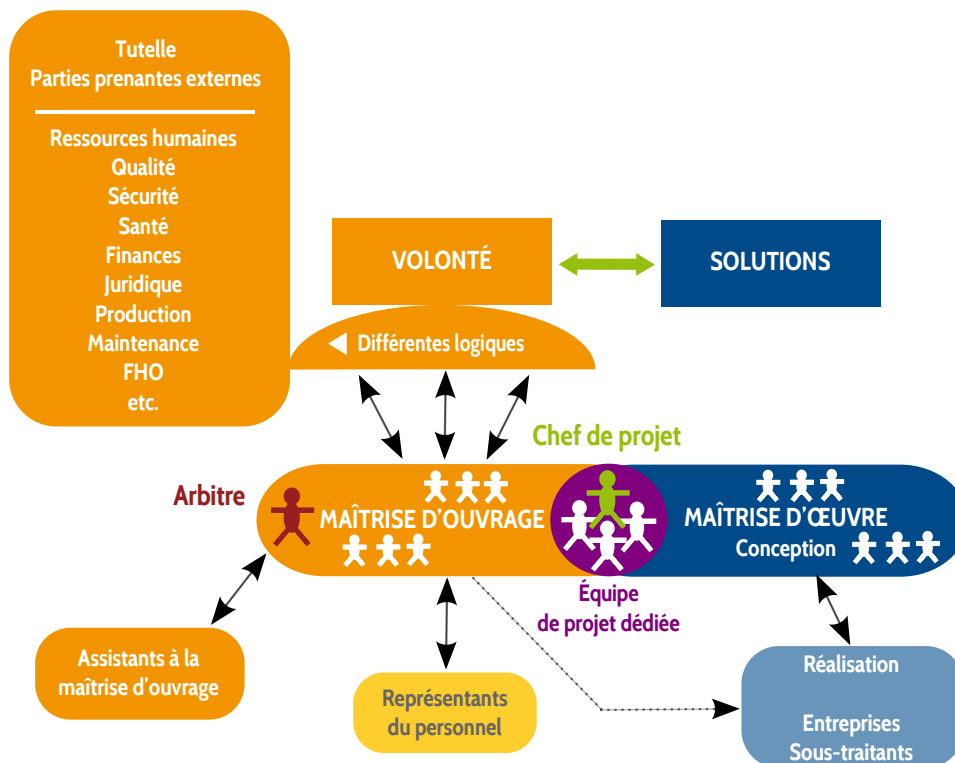


FIGURE 2.4 – La structuration d'ensemble du projet, d'après [Jackson 1998].

En résumé, la structuration du projet présente les caractéristiques suivantes :

- tous les enjeux vitaux du projet (liés à des parties prenantes internes et externes) sont reflétés au sein du **collectif de maîtrise d'ouvrage**, qui est le porteur de la volonté concernant le fonctionnement futur du système, et assure notamment l'interface avec les partenaires externes et internes (IRP);
- éventuellement des assistants à la maîtrise d'ouvrage (AMO);
- un « **arbitre** » susceptible de fixer les compromis entre les différentes logiques;
- un **chef de projet maîtrise d'ouvrage**, assurant une présence permanente de la maîtrise d'ouvrage face à la maîtrise d'œuvre et sollicitant la réunion de la maîtrise d'ouvrage quand nécessaire;
- une **équipe de projet dédiée** qui assiste le chef de projet maîtrise d'ouvrage;
- une **maîtrise d'œuvre** chargée de concevoir, et éventuellement de faire réaliser, des solutions compatibles avec les objectifs de la maîtrise d'ouvrage.

Les bénéfices attendus et les conditions de réussite de la démarche FHO

En bref

La mise en place d'une démarche FHO dans le projet permet de viser une fiabilisation du système sociotechnique global, une diminution de l'incertitude sur la sécurité industrielle, une meilleure circulation de l'information, une convergence des mobilisations. La démarche FHO doit être planifiée dès le début du projet pour s'intégrer harmonieusement aux étapes de conception et fournir à temps les informations et validations nécessaires. Dans le cas d'un marché de conception-réalisation, la démarche FHO fait l'objet d'une contractualisation avec la MŒ. Les conditions d'association des exploitants au projet doivent également être définies de façon précoce.

Avant de décrire dans le chapitre 4 les contributions possibles d'une démarche FHO à la conduite d'un projet d'investissement, examinons-en les bénéfices attendus et les conditions de réussite.

3.1 Les bénéfices attendus par la maîtrise d'ouvrage et notamment la direction du site

La mise en place d'une démarche FHO nécessite une structuration du projet qui donne la prééminence à la maîtrise d'ouvrage sur la maîtrise d'œuvre, et qui favorise l'articulation entre les deux (voir chapitre 2).

La première condition de réussite d'une démarche FHO dans un projet industriel est donc la conviction de la maîtrise d'ouvrage et notamment de la direction du site. Elles peuvent en attendre les bénéfices suivants.

3.1.1 Une fiabilisation du système sociotechnique global

La démarche FHO va permettre :

- plus d'interactions entre les différents acteurs du projet et de l'exploitation ;
- une meilleure prise en compte de l'usage futur tout au long de la conception.

Les situations d'exploitation normale, ou incidentelles, susceptibles de se présenter dans le futur ont ainsi plus de chances d'être envisagées dès le stade de la conception et corrigées sur plans au lieu de se révéler en fonctionnement.

L'association précoce des responsables et équipes d'exploitation renforce la maîtrise des exploitants et leur capacité à faire face aux situations prévues et imprévues.

3.1.2 Une meilleure maîtrise du démarrage et du budget

En l'absence de démarche FHO, le budget est souvent grevé par l'apparition de nombreux aléas en cours d'études (remarques de l'exploitant intervenant tardivement), et par un démarrage difficile qui nécessite des modifications et entraîne une perte d'exploitation.

Malheureusement, ces coûts importants sont souvent peu analysés, faute d'approche en termes de budget global du projet.

Dans le cas où une démarche FHO est mise en place, son coût est celui des intervenants FHO, des temps de réunion, de la démarche participative. Les résultats des simulations conduisent à des modifications du projet au stade des plans. Celles-ci sont compensées par **la diminution des aléas découverts tardivement** en cours de conception. Le démarrage a plus souvent lieu en temps et en heure, avec de faibles modifications. Aucune perte d'exploitation significative n'est constatée. C'est donc une fiabilisation de la conception qui est assurée, non seulement par la présence de spécialistes FHO, mais par toutes les interactions entre acteurs que la démarche favorise.

3.1.3 Une diminution de l'incertitude sur la sécurité industrielle

Un projet dans une industrie à risques comporte toujours une part d'incertitude, notamment sur la capacité de l'organisation à faire face à d'éventuels incidents. Sera-t-on capable, en toutes circonstances, d'arrêter l'installation en sécurité ? La mise en place de simulations du travail futur contribue à diminuer cette incertitude :

- elle permet par anticipation une amélioration de la conception des installations, des dispositions organisationnelles, des procédures ;
- elle augmente la compétence des équipes et de l'encadrement à maîtriser les installations et à faire face à des événements rares, améliorant ainsi ce que les anglo-saxons appellent *preparedness*.

3.1.4 Une meilleure circulation de l'information

Une des difficultés habituelles des projets est le décalage entre les niveaux d'information dont disposent les différents intervenants. La démarche facteurs humains s'alimente d'interactions avec de nombreux acteurs du projet. Elle génère des « objets intermédiaires » (comptes rendus, plannings, maquettes...) qui peuvent être partagés par tous. Elle provoque des réunions rassemblant différents types d'acteurs. De ce fait, elle contribue à la circulation de l'information sur l'avancement du projet, et à la synchronisation des représentations des uns et des autres. En particulier, elle favorise l'information des responsables d'exploitation sur les solutions retenues par l'équipe projet.

3.1.5 Une convergence des mobilisations

Souvent, un investissement piloté par une ingénierie distante est perçu par les acteurs du site comme « parachuté » et fait l'objet de différentes formes de défiance et de rejet. Au contraire, une conduite de projet associant les acteurs locaux à l'anticipation du fonctionnement futur et à la mise au point des solutions proposées favorise l'acceptabilité du projet et la convergence des différentes mobilisations : équipe projet, responsables d'exploitation, encadrement de proximité, équipes d'exploitation. Les opérateurs anciens ont moins d'inquiétudes sur leurs capacités à suivre une nouvelle formation et à passer de nouvelles habilitations.

Si les conditions d'information et de consultation des instances représentatives du personnel (chapitre 1) sont réunies, la démarche FHO peut également favoriser l'amélioration du dialogue social.

3.1.6 Une diminution de la pénibilité et de l'accidentalité

Une conception des installations intégrant de façon précoce les conditions du travail humain peut favoriser une diminution de la pénibilité de réalisation des opérations, une moindre exclusion des travailleurs vieillissants, une diminution de certaines restrictions d'aptitude, et

contribuer à une baisse de l'accidentalité. Il faut cependant veiller à ce qu'une diminution des sollicitations physiques ne s'accompagne pas d'un accroissement des contraintes de rythme ou à une augmentation de la charge de traitement d'information.

3.2 L'organisation de l'approche FHO

3.2.1 Les compétences requises

La mise en œuvre d'une démarche FHO sur l'ensemble d'un projet nécessite des compétences qui sont celles des ergonomes (ou des spécialistes facteurs humains¹). Pour un investissement important, une simple sensibilisation aux facteurs humains d'un responsable technique ne sera pas suffisante pour assurer une prise en compte cohérente de tous les aspects en jeu.

Un porteur de l'approche FHO doit être désigné. Suivant la taille du projet, il pourra être entouré de plusieurs intervenants qualifiés, ayant éventuellement des spécialités différentes (par exemple, ergonomiste spécialisé dans les IHM, spécialiste des organisations...).

Les intervenants FHO dans un projet vont mobiliser des compétences basées sur :

- des connaissances sur le fonctionnement (physique, cognitif, psychique) de l'être humain et celui des organisations, permettant notamment d'évaluer le coût humain² d'une activité et les différents risques associés (risques d'erreur, risques pour la santé);
- des méthodes d'analyse du travail dans les situations existantes;
- des méthodes de simulation du travail futur et d'évaluation FHO du système prévu;
- des méthodes d'intégration des aspects FHO à toutes les étapes du projet, en collaboration avec les acteurs concernés.

Ils peuvent être salariés de l'entreprise, ou consultants externes³. Pour les grands projets, il est préférable qu'ils soient internes à l'entreprise, par exemple mis à disposition du projet par les services centraux.

3.2.2 Le positionnement des intervenants FHO

Certaines entreprises ont fait le choix de placer la compétence FHO dans la maîtrise d'œuvre, en imposant à celle-ci de comporter un ergonomiste. Ce dernier peut alors intervenir sur les aspects techniques de la conception; mais, si la compétence FHO est située uniquement là, la maîtrise d'ouvrage se prive d'une contribution facteurs humains sur la définition des objectifs du projet, les hypothèses organisationnelles, la préparation des formations, la rédaction des procédures...

Pour donner toute son ampleur à une démarche FHO, il est souhaitable que son responsable soit positionné du côté de la maîtrise d'ouvrage⁴. Une bonne solution peut être de le **détacher aux côtés du chef de projet maîtrise d'ouvrage**, au sein de l'équipe projet. Ce positionnement assure la légitimité de la démarche FHO, la proximité par rapport aux flux

¹Le terme « ergonomiste » est lié à la culture européenne, y compris britannique. Le terme « spécialiste facteurs humains » relève historiquement de la culture américaine. On assiste au niveau international à une convergence de ces deux dénominations, puisque la *Human Factors Society* américaine est devenue la *Human Factors and Ergonomics Society*, et que la *Ergonomics Society* anglaise est devenue l'*Institute for Ergonomics and Human Factors*.

²Le coût humain d'une activité correspond à ses effets négatifs sur les personnes :

- ▷ à court terme : efforts importants, postures inconfortables, douleurs, fatigue importante, blessure, stress, conflits dans un collectif...
- ▷ à plus long terme, du fait de la répétition de certaines situations : atteintes à la santé, restrictions d'aptitude ou exclusion de la fonction, anxiété, dépression, détérioration des relations interindividuelles...

³L'entreprise qui souhaite une garantie sur la compétence de l'intervenant pourra s'assurer qu'il dispose d'un master en facteurs humains et/ou d'un titre d'Ergonomiste européen®. Cette labellisation, mise en place par l'ensemble des sociétés européennes d'ergonomie, est basée sur une évaluation de la formation, de l'expérience professionnelle, et du maintien à jour des compétences. L'équivalent américain s'intitule *Certified Professional Ergonomist* ou *Certified Human Factors Professional*.

⁴Ce qui n'est pas incompatible avec la présence par ailleurs d'un ergonomiste au sein de l'équipe de MCE, notamment quand celle-ci dispose d'un mandat de conception-réalisation.

d'information et aux acteurs de la conception, et la possibilité d'une vision transverse. Le responsable FHO pourra être invité aux réunions du collectif de maîtrise d'ouvrage chaque fois que nécessaire. Il participera à des pré-validations des grands choix de conception à différents jalons du projet.

3.2.3 Le cadrage de la démarche FHO

Le dimensionnement de la démarche FHO⁵ doit permettre d'apporter toutes les contributions évoquées aux chapitres 4 et 5. De façon idéale, elle devra donc être planifiée sur l'ensemble du projet, de la définition des objectifs à l'évaluation du démarrage. Un responsable FHO devra donc être identifié dès le stade de l'avant-projet⁶, pour contribuer au cadrage d'ensemble de la démarche. Le recours à d'autres intervenants FHO pourra se faire selon un pourcentage de temps variable en fonction des phases du projet.

Le **cadrage de la démarche FHO** en phase d'avant-projet consiste à :

- déterminer avant ou pendant les études d'avant-projet les enjeux, les opportunités et les risques spécifiques du projet en matière de facteurs humains et organisationnels : caractéristiques de la population, identification des problèmes connus dans les situations existantes, degré d'innovation, risques technologiques, complexité des interfaces, enjeux sociaux voire sociétaux... ;
- renforcer les informations servant à fixer les hypothèses initiales, par exemple en matière d'effectifs ou d'organisation⁷ ;
- favoriser et instruire la définition par la maîtrise d'ouvrage des objectifs sociotechniques relatifs à ces différents enjeux et **leur expression dans le programme fonctionnel** (chapitre 1) ;
- réaliser en collaboration avec les équipes DRH le « dossier hommes-organisations » du programme fonctionnel (page 16) ;
- identifier les autres démarches ou procédures de l'entreprise susceptibles d'interférer avec la démarche facteurs humains ;
- déterminer la stratégie globale en matière de facteurs humains et organisationnels pour l'ensemble du projet, et définir ce qu'elle requiert de la part de chacun des acteurs du projet (**plan d'intégration FHO**) ;
- contribuer à une structuration du projet permettant une interaction continue entre maîtrise d'ouvrage et maîtrise d'œuvre et introduire les exigences correspondantes dans la contractualisation de la maîtrise d'œuvre (chapitre 2) ;
- traduire la stratégie FHO d'ensemble en étapes méthodologiques, négocier les ressources correspondantes, et introduire les étapes FHO dans le planning général du projet.

3.2.4 L'allocation de ressources

La démarche FHO n'est pas une « dépense », mais une composante de l'investissement. À ce titre, elle doit être budgétée dès le début du projet. Le montant à prévoir dépend évidemment de la nature du projet, de son degré d'innovation, du niveau des risques industriels, et de la stratégie globale FHO mise en place (notamment répartition des missions FHO entre l'équipe projet interne et la maîtrise d'œuvre).

⁵Les standards anglo-saxons parlent de *HFE [Human factors engineering] screening* : ce terme désigne la détection précoce de tous les besoins FHO, qui débouche sur la définition d'une stratégie globale FHO et la planification de la démarche. Voir notamment l'article de Seet & McLeod cité dans la synthèse initiale de ce document [Seet et McLeod 2012].

⁶Ce responsable FHO mobilisé de façon très précoce sur l'avant-projet sera parfois différent de celui qui assurera le suivi effectif du projet en phase études.

⁷Lorsque le projet porte sur la modernisation, l'agrandissement, le déménagement d'une installation existante, la réalisation des missions ci-dessus pourra nécessiter que le spécialiste FHO procède dès cette phase à une analyse détaillée de son fonctionnement actuel et des difficultés rencontrées (voir chapitre 5).

Bien que la structure budgétaire des projets soit très variable, des exemples vécus⁸ conduisent à suggérer les ordres de grandeur suivants :

- coût des intervenants facteurs humains : 0,10 à 0,25% du montant de l'investissement ;
- coût interne de la démarche facteurs humains (temps de la direction, de l'équipe de projet, de l'encadrement et des opérateurs) : 0,5 à 1,5% du montant de l'investissement⁹ ;
- enveloppe budgétaire pour intégrer dans la conception les résultats de la démarche facteurs humains (équipements contribuant à favoriser la sécurité et à prévenir la pénibilité, correction d'erreurs de conception ainsi détectées...) : 1 à 4% du montant de l'investissement.

3.3 La contractualisation FHO de la maîtrise d'œuvre

La mise en place d'une démarche FHO relève de la volonté de la maîtrise d'ouvrage. Si une démarche FHO globale est mise en place, les responsabilités spécifiques de la MCE dans ce domaine doivent être explicitées dans le programme fonctionnel et dans le contrat qui la lie à la MO. Seront ainsi indiqués :

- l'existence d'un référent FHO, voire d'un spécialiste FHO, dans l'équipe de MCE ;
- les conditions de la participation de la MCE aux études de danger et aux analyses de risques ;
- la nature et la planification des informations FHO qui seront fournies par la MO et devront être prises en compte par la MCE, notamment les repères pour la conception et les résultats des simulations ;
- la nature et la planification des informations, supports et ressources qui devront être fournis par la MCE pour permettre le déroulement de la démarche FHO (par exemple, type de plans ou de maquettes, présence d'un représentant de la MCE dans les groupes de travail assurant les simulations, versions intermédiaires des procédures ou documents de conduite...);
- les formes d'interaction entre MCE et MO (notamment réunions régulières) à toutes les étapes du projet ;
- la nature et la date des jalons de validation FHO de chacune des étapes de conception ;
- les exigences FHO que la MCE devra intégrer dans les cahiers des charges et dans le processus de sélection des entreprises ;
- la contribution attendue de la MCE à la formation des opérateurs ;
- les formes contractuelles de la participation des opérateurs d'exploitation à la mise en service lorsqu'elle est assurée par la MCE ;
- les exigences FHO relatives à la préparation du chantier, et les conditions de coordination du chantier entre MCE et futurs responsables d'exploitation ;
- les formes de la présence de la MCE en phase de démarrage ;
- l'exigence d'une évaluation d'usage quelques mois après le démarrage ;
- ...

3.4 Une association des exploitants

La présence d'exploitants (**production et maintenance**) dans le projet est une condition de sa réussite. Elle prend plusieurs formes.

⁸Exemples issus du secteur de la chimie et de la pétrochimie.

⁹Ces salaires étant payés de toute façon, les quotes-parts mobilisées pour la démarche FHO font rarement l'objet d'une identification spécifique.

3.4.1 La présence d'exploitants expérimentés dans l'équipe projet

Il est fréquent que des exploitants (opérateurs, chefs de quart, chefs d'équipe de maintenance, ingénieur de production...) soient détachés dans l'équipe projet. Cette présence est très utile pour favoriser la prise en compte des contraintes d'exploitation dans les décisions de conception.

Cependant, il ne faut pas sous-estimer qu'après de longs mois dans une équipe de conception, les anciens exploitants acquièrent progressivement une partie du mode de raisonnement de leurs collègues concepteurs. Il peut être utile de leur permettre de retourner périodiquement travailler en exploitation.

Le mode d'association des exploitants détachés dans le projet ne doit pas les mettre en situation d'être de simples cautions vis-à-vis du reste de l'équipe projet : leur contribution doit donc être articulée avec l'ensemble de la démarche FHO.

Par ailleurs, leur présence ne se substitue pas à une information régulière des responsables d'exploitation actuels sur l'avancement du projet.

3.4.2 L'association des responsables d'exploitation actuels

L'appropriation du projet par l'entité qui va recevoir l'installation est un enjeu majeur. Souvent, les responsables actuels d'exploitation sont marginalisés par rapport au déroulement du projet, notamment en raison de leur charge de travail au quotidien. Cette absence a parfois des conséquences graves :

- l'encadrement de proximité est en difficulté pour répondre aux questions des équipes sur le projet ;
- il peut difficilement anticiper les effets de la nouvelle installation sur l'exploitation des autres unités, et contribue donc peu à la réflexion sur les hypothèses organisationnelles ;
- il est susceptible de prendre, dans les unités existantes, des décisions qui seront remises en cause par le projet.

Les responsables d'exploitation doivent en fait être associés dès le début du projet, par exemple au cours d'une réunion d'enclenchement, où ils contribueront à l'inventaire des risques et opportunités liés au projet.

L'information régulière des responsables actuels d'exploitation doit être organisée par le chef de projet maîtrise d'ouvrage, par exemple sous la forme d'une réunion mensuelle. Un certain nombre de tâches du projet devront les associer précisément, comme le recensement des situations d'exploitation (voir page 45).

3.4.3 L'association des futurs exploitants

La mise en place d'une démarche facteurs humains nécessite la participation de futurs exploitants (opérateurs et encadrement de proximité) dès le stade des études de détail¹⁰. Par ailleurs, les formations nécessaires à la conduite et la maintenance de la nouvelle installation et la rédaction des procédures devront aussi commencer pendant cette phase.

Il est donc indispensable que les **futurs exploitants** de la nouvelle installation soient **identifiés de façon précoce**, qu'il s'agisse de recrutements ou de mutations d'autres unités du site ou d'autres sites. S'il n'est pas toujours possible de nommer la totalité des membres des futures équipes très longtemps à l'avance, une montée en puissance progressive est souhaitable¹¹ :

- nomination du futur responsable d'exploitation de l'unité dès le début du projet, si possible avec la fonction de chef de projet maîtrise d'ouvrage ;

¹⁰Dès le stade des études de base dans le cas d'une modification d'installation existante. Si les opérateurs futurs ne sont pas nominativement identifiés, il est possible d'associer au projet des opérateurs présentant les compétences qui serviront de base aux futures nominations.

¹¹Exemples issus des secteurs de la chimie et de la pétrochimie.

- nomination de l'encadrement de proximité et d'une partie des opérateurs seniors 18 mois à un an avant le début du chantier, pour permettre leur participation à la fin des études de détail et la préparation des formations (ce qui n'impose pas qu'ils soient disponibles à plein temps sur le projet, il peut s'agir d'un détachement à temps partiel des fonctions antérieures);
- futures équipes entièrement constituées au plus tard au début du chantier, pour permettre l'achèvement des formations, la participation aux essais, la fin du passage des habilitations.

3.4.4 Les conditions d'une approche participative

Une approche participative des facteurs humains ne consiste pas à recueillir les « opinions » des salariés sur les orientations techniques et organisationnelles.

Elle vise à les associer à un travail conjoint d'évaluation, voire de choix, de ces solutions, autour des questions « **Comment fera-t-on pour travailler dans le futur système? Quels problèmes risque-t-on de rencontrer? Quelles orientations de solutions peut-on privilégier?** », appliquées à diverses situations d'exploitation.

Cette participation directe d'opérateurs a un statut différent de la participation de leurs représentants élus dans les IRP. Ces derniers ont pour fonction de représenter les intérêts de l'ensemble des salariés, sur un très grand nombre de domaines (emploi, statut, qualification, rémunération, conditions de travail, horaires et rythmes de travail, formation, avantages sociaux...). Les opérateurs qui s'impliquent dans l'évaluation et la mise au point des solutions représentent leur propre compétence de métier.

Ces deux formes de représentation doivent donc être articulées : il est impossible de mettre en place une démarche participative sans que les IRP soient précisément informées et consultées au préalable sur ses objectifs, ses étapes, les modalités de constitution des groupes de travail. Si les représentants du personnel soutiennent la conduite de projet mise en place, la confiance et la mobilisation des salariés seront facilitées. Les IRP doivent également être régulièrement tenues au courant des résultats de la démarche.

Deuxième partie

La démarche FHO

Du travail actuel au travail futur, les étapes FHO en conception

En bref

La démarche FHO vise à anticiper le travail futur qui se déroulera dans la nouvelle installation. Elle s'articule avec la dynamique de conception à toutes les étapes du projet. Une de ses premières contributions essentielles est l'explicitation des futures situations, normales ou dégradées, qui devront être gérées pour l'exploitation du nouveau système.

La future unité sera exploitée par des femmes et des hommes dont l'activité conditionnera la performance et la sécurité de l'installation, ainsi que la sécurité et la santé des personnes concernées. Cette activité doit donc être favorisée par la **conception technique et organisationnelle** de tout le système.

4.1 Différentes dimensions d'une approche FHO

La réflexion sur l'activité humaine lors de la conception d'un système comporte plusieurs dimensions¹.

- La plus connue concerne l'**adaptation des moyens de travail** aux caractéristiques physiques et perceptives des utilisateurs (dans leur diversité) : rendre les vannes accessibles à des opérateurs de toute taille ; éviter les efforts excessifs ; prévenir l'exposition à des facteurs d'ambiance nocifs ; afficher l'information sous une forme claire favorisant la compréhension rapide et précise de la situation, et donc la prise de décisions adaptées ; concevoir des commandes conformes aux règles de l'art ; dimensionner le mobilier, *etc.* Cette prise en compte indispensable est souvent lacunaire dans les projets de conception industrielle². Elle peut, dans une large mesure, être déjà bien améliorée par le respect de standards de conception.

Mais cette adaptation nécessaire des moyens de travail à la physiologie humaine n'est pas suffisante, si l'on ne s'interroge pas sur **le travail réel**. Les installations sont bien souvent conçues principalement pour un fonctionnement supposé normal. Lorsque les conditions d'exploitation seront en écart par rapport aux hypothèses de conception, par exemple dans des phases de démarrage, d'incident, de maintenance, *etc.*, les opérateurs peuvent avoir à gérer des situations non prévues en conception. Les conditions d'intervention peuvent alors être problématiques des points de vue des conditions de travail, de la sécurité, mais aussi de la performance industrielle.

- La deuxième grande contribution d'une approche facteurs humains-ergonomie consiste donc à recenser les **situations** que les opérateurs auront à gérer dans la future installation, et à s'interroger sur l'activité qu'il sera possible de mettre en œuvre dans ces situations, à travers des **simulations** qui seront décrites plus loin. Les hypothèses techniques et organisationnelles peuvent être mises à l'épreuve de ces simulations, et être corrigées dès le stade des études si cela apparaît nécessaire.

¹Voir par exemple [Béguin 2004].

²L'annexe 1 du guide OGP 454 cité dans la synthèse de ce document [OGP 2011] fournit des exemples d'illustrations de ce qu'il faut éviter.

- La troisième contribution d'une approche facteurs humains consiste à favoriser le **développement** du système et des personnes au-delà de la situation initiale qui suivra le démarrage. Un système industriel qui ne progresse pas est un système qui régresse, compte tenu notamment du vieillissement des installations. On s'intéressera ici aux conditions organisationnelles qui nourriront, en vie quotidienne, l'amélioration continue de la sécurité, le développement des compétences, la gestion des parcours professionnels, le dialogue social, *etc.*

4.2 Les étapes d'une contribution FHO dans le projet

Cette section présente une vue globale de la contribution FHO possible à chacune des étapes du projet. Les méthodes correspondantes seront détaillées dans le chapitre 5.

4.2.1 Avant-projet

La contribution FHO lors de l'avant-projet a été décrite ci-dessus dans le paragraphe « cadrage de la démarche », page 32.

4.2.2 Études de base

Lors des **études de base**, en fonction des grandes options techniques qui se dessinent, le travail du spécialiste FHO va surtout porter sur l'identification **des situations d'exploitation futures probables**, de leurs principales caractéristiques et des exigences qui en découlent pour le projet. Il s'agit de répertorier, de façon aussi précise que possible, des situations de production et de maintenance que les opérateurs pourront avoir à gérer dans le futur, non seulement en fonctionnement normal, mais lors de démarrages, d'incidents, d'arrêts (en mettant un accent particulier sur les **tâches critiques** du point de vue de la sécurité). Ce recensement doit permettre que la conception porte sur toutes les situations d'exploitation, et pas seulement les situations de fonctionnement normal.

Par exemple

Le dépotage d'un fût de catalyseur dans un réacteur est une opération « simple ». Pour autant, l'ensemble des opérations suivantes doit être possible :

- identifier le fût correct de catalyseur dans un stockage
- amener le fût à l'emplacement du dépotage
- **ouvrir le fût** (outil ?) et **poser le couvercle et l'outil**
- obtenir de la salle de contrôle l'autorisation de réaliser l'opération
- ouvrir une trappe (réacteur en fonctionnement)
- positionner et basculer le fût
- **pouvoir identifier que le fût est vide**
- **évacuer le restant de catalyseur collé au fond du fût**
- sortir et refermer le fût, remettre l'outil à poste
- informer la salle de contrôle de la réalisation de l'opération
- **nettoyer la quantité de produit tombée au sol**
- évacuer le fût vers un stockage de contenants vides.

Ces opérations doivent être possibles **de jour, de nuit, sous la pluie, sous la neige**. Elles peuvent être réalisées par un opérateur petit ou grand, jeune ou plus ancien, porteur de lunettes correctrices... Le degré d'urgence de l'opération et les marges de manœuvre temporelles sont à préciser. Les solutions choisies doivent intégrer le fait que le catalyseur est hautement toxique (opérateur avec combinaison jetable sur son bleu de travail, masque, lunettes de protection, gants...).

Ce recensement des situations d'exploitation se fera à partir de trois sources :

- la prise de connaissance des options techniques à l'étude ;
- l'analyse des situations actuelles sur le site concerné par le projet (voir détail au chapitre 5) ;
- l'analyse de situations existant sur des sites qui comportent des solutions voisines de celles qui sont à l'étude.

Les méthodes correspondantes sont détaillées page 45.

L'explicitation des situations d'exploitation permettra de produire des « repères pour la conception » (page 46), qui alimenteront les cahiers des charges. Puis elle servira à construire les scénarios de simulation, qui seront utilisés pour mettre à l'épreuve les hypothèses techniques et organisationnelles.

Ces situations d'exploitation seront aussi utilisées lors des analyses de risques.

Une première série de simulations peut avoir lieu pendant les études de base, pour instruire le choix entre des grandes options techniques ou organisationnelles. La plupart se dérouleront pendant les études de détail, pour tester les solutions proposées et au besoin les faire corriger avant leur mise en œuvre.

4.2.3 Études de détail

Au fur et à mesure que des solutions techniques sont proposées par les concepteurs, et que les hypothèses organisationnelles se précisent, il est possible de mettre en place des **simulations** de l'activité humaine qui sera nécessaire pour les faire fonctionner ou les maintenir, de détecter des difficultés probables et de permettre leur correction dès le stade des plans.

La réalisation de ces simulations suppose la participation d'opérateurs et de l'encadrement d'exploitation. Elle contribue à leur découverte de la future installation, et donc à leur formation. Le déroulement sera détaillé au chapitre 5.

Pendant cette phase, les intervenants FHO contribueront également à la préparation du chantier et du démarrage.

4.2.4 Chantier

À mesure que les nouvelles installations sont construites, il est possible de réaliser des simulations grandeur nature (matériels à l'arrêt) de la réalisation de certaines opérations. Ces simulations permettent l'ajustement de certaines configurations (ajout de plateformes, de passerelles, de poignées, d'étiquettes...). Elles contribuent aussi à la découverte des installations et à la formation des opérateurs. Des visites chez les constructeurs pourront permettre de prendre connaissance de certains sous-ensembles importants.

4.2.5 Épreuves et essais

La participation des opérateurs aux épreuves et essais contribue à leur prise en main de l'installation. Elle peut nécessiter des dispositions contractuelles vis-à-vis du fournisseur qui a la responsabilité juridique de la mise en service.

4.2.6 Démarrage, évaluation du projet et passage à l'exploitation ordinaire

Le chapitre 8 insistera sur l'importance d'une présence FHO au moment du démarrage et évoquera l'évaluation du projet et l'accompagnement du passage du mode projet au mode d'exploitation normale.

Le tableau 4.1 résume les principales contributions FHO possibles tout au long du projet.

Étapes techniques	Contribution FHO
Avant-projet	Enrichissement des objectifs Détection des enjeux Définition des concepts et principes directeurs d'exploitation Cadrage de la démarche FHO Intégration des FHO dans le programme fonctionnel
Études de base	Analyse de situations existantes : <ul style="list-style-type: none"> • explicitation des situations d'exploitation futures Fourniture de repères pour la conception
Études de détail	Simulations techniques et organisationnelles Fourniture de repères pour la conception Préparation du chantier
Chantier	Simulations grandeur nature Préparation du démarrage
Démarrage	Évaluation du démarrage
	Nominal
Fonctionnement	Évaluation d'usage REX du projet

TABLE 4.1 – Les contributions FHO aux différentes étapes

Le chapitre 5 va maintenant détailler les méthodes qu'il est possible de mettre en œuvre à chacune de ces phases.

Les méthodes d'une intervention FHO dans un projet

En bref

La démarche FHO repose sur l'articulation de deux méthodes principales :

- l'analyse approfondie du travail réalisé dans des situations existantes pertinentes pour le projet ;
- la simulation de l'activité humaine future susceptible de découler des choix de conception.

Les spécialistes FHO vont fournir aux concepteurs des « repères » pour améliorer la conception, en phase avec les décisions de conception qui se prennent à chaque étape.

Toute la démarche FHO en conception converge vers la réalisation de simulations du travail futur. Le chemin à parcourir au cours de l'intervention consiste à recueillir assez d'informations sur le travail actuel dans des unités existantes et sur les solutions techniques et organisationnelles en cours de conception pour pouvoir anticiper le travail futur, identifier les difficultés probables, et influencer la conception sur cette base.

5.1 La connaissance du projet

La première tâche de tout intervenant FHO dans un projet de conception est de prendre précisément connaissance de l'organisation de celui-ci :

- objectifs du projet ;
- cadrage général de la démarche FHO ;
- structuration mise en place entre la maîtrise d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre, organisation de l'équipe projet ;
- planning et état d'avancement ;
- état d'avancement des solutions de conception ;
- outils et supports utilisés (par exemple, schémas de principe, plans d'ensemble, plans cotés, schémas PID, représentations 3D...).

L'intervenant FHO qui n'aurait pas une formation initiale technique devra se donner les moyens de comprendre les procédés et techniques en jeu, sans pour autant devenir un expert technique.

5.2 L'analyse des situations existantes

La base de toute approche facteurs humains est le fait que le travail humain ne peut jamais être décrit comme la seule exécution de procédures prescrites¹ :

- les opérateurs ont à gérer de nombreuses formes de variabilité, de nombreux écarts entre la situation réelle et celle qui a été anticipée par les procédures ;
- ils le font en mobilisant leur corps, leur intelligence, leur expérience, et celle des collectifs auxquels ils appartiennent ;
- la performance obtenue n'est pas révélatrice du coût humain qui a été nécessaire pour l'atteindre.

Le REX et l'analyse des situations existantes visent à identifier ces dimensions du travail qui n'apparaissent pas à la simple lecture des fiches de fonction ou des procédures.

5.2.1 Plusieurs types de « situations de référence »

Dans le cas d'un projet de conception, plusieurs situations « de référence »² peuvent être utiles à analyser :

- les unités actuelles, que le projet vise à moderniser, regrouper, agrandir, ou déménager ;
- d'autres unités, éventuellement sur d'autres sites, qui présentent des caractéristiques voisines de celles que le projet vise à introduire.

Le premier cas ne pose en général pas de problème d'accès. La deuxième famille de situations pourra concerner un autre site du même groupe, un pilote industriel³, ou bien des installations d'une autre entreprise, dont l'accès est ouvert dans le cadre d'échanges industriels ou par l'intermédiaire d'un fournisseur. Les analyses possibles dans ce dernier cas seront évidemment plus limitées.

Dans tous les cas, l'intervenant FHO présentera sa mission à l'encadrement et aux équipes concernées et obtiendra leur accord préalablement aux observations.

5.2.2 La compréhension du travail prescrit et l'analyse des traces du fonctionnement à travers le REX

Les entretiens avec l'encadrement de l'unité permettront de découvrir le procédé et l'organisation du secteur, et d'évoquer des phases critiques de son fonctionnement. Ils seront complétés par une analyse documentaire visant la compréhension des tâches prescrites, à travers les schémas de procédé, les organigrammes et notes d'organisation, les fiches de fonction. Une analyse des caractéristiques de la population (notamment âge et ancienneté, qualifications) sera également effectuée.

Elle se poursuivra par l'analyse de documents témoignant des conditions de fonctionnement de l'unité : rapports de production (volume et qualité) ou de maintenance, comptes rendus d'incidents, accidentologie et premiers soins, absentéisme, questions soulevées par les représentants du personnel...

Cette analyse documentaire (REX) vise notamment à détecter des familles de situations où la performance prévue n'est pas atteinte, ou est atteinte au prix d'un coût humain élevé.

Cette phase ne nécessite pas de compétences approfondies en ergonomie-facteurs humains, et peut être partagée au sein de l'équipe projet.

¹Voir le Cahier « état de l'art » [Daniellou et al. 2010].

²Ce terme ne signifie pas qu'il s'agit de références que l'on voudrait imiter, mais de situations auxquelles on se réfère pour réunir de l'information. L'approche en termes de « situations de référence » se distingue de certaines approches de *benchmark* visant à détecter ailleurs des solutions intéressantes, et à les importer dans le projet, sans s'interroger sur les différences de contextes qui peuvent conduire à un échec de cette transposition.

³Voire dans certains cas une partie d'installation reconstituée expérimentalement.

5.2.3 La compréhension de l'activité réelle

La principale méthode d'analyse FHO est basée sur l'observation de l'activité. L'intervenant FHO observera sur des durées suffisamment longues le travail des différentes catégories d'opérateurs⁴ en salle de contrôle et sur le terrain. Cette analyse de l'activité n'a pas pour but d'évaluer sa conformité aux procédures prescrites, mais de comprendre les variabilités que les opérateurs doivent gérer, l'élaboration de leurs modes opératoires, les collaborations entre opérateurs, et d'éventuelles sources de coût humain. Il s'agit notamment d'identifier les facteurs qui conditionnent l'efficacité des opérations, ceux qui génèrent des coûts humains, des risques d'erreur, des atteintes à la performance... L'observation est complétée par des entretiens avec les personnes concernées, qui pourront porter sur les situations observées et sur d'autres qui se produisent plus rarement. Les conclusions sont validées auprès des personnes observées. Ces méthodes nécessitent des compétences précises en analyse ergonomique du travail.

5.3 Le recensement des « situations d'exploitation »

À partir des observations dans les situations existantes mentionnées plus haut, et de la connaissance des solutions techniques et organisationnelles à l'étude, et en associant les responsables d'exploitation et des membres de l'équipe projet, il est possible de réaliser une première explicitation des principales « situations d'exploitation » constatées dans les situations existantes et susceptibles de se produire dans le futur système :

- interventions en fonctionnement normal, y compris les stratégies de surveillance, l'organisation des tournées ou rondes, l'approvisionnement en matières premières, les prélèvements pour contrôle ou analyse, les transferts et l'évacuation des produits, le nettoyage régulier, la gestion des déchets ;
- opérations transitoires (démarrages, changement de produit, mise en arrêt, transferts de produits...);
- traitement d'incidents fréquents ou critiques (déclenchements, perte de réseaux de fluides), opérations nécessitant la présence de plusieurs opérateurs ;
- synchronisation et coordination entre les membres de l'équipe de conduite en salle et sur le terrain, avec la maintenance, avec d'autres unités ;
- condamnation / consignation avant maintenance ;
- opérations de maintenance fréquentes ou critiques ; gestion de l'interface avec les prestataires (demandes de travaux, permis de travaux, réception des travaux...);
- ...

Les facteurs influençant la réalisation des tâches dans ces situations sont également mentionnés : opération de jour ou de nuit, intempéries, influence de l'état du reste des installations... Il s'agit d'identifier les invariants du traitement de ces situations, mais aussi leurs facteurs de variation.

Cet inventaire de situations doit être mis en discussion avec les responsables d'exploitation et l'équipe projet.

Les modes de marche-arrêt

Il est notamment essentiel qu'il y ait un accord entre l'équipe projet et les responsables d'exploitation, d'automatismes et instrumentation sur le recensement des équipements critiques et sur les stratégies qui seront mises en œuvre pour assurer le démarrage, l'arrêt, le délestage *etc.* de ces équipements ou faire face à leur non-disponibilité.

Le choix des positions de sécurité des vannes (ouverture ou fermeture en cas de panne d'air instrument, par exemple) pourra également résulter de ce recensement.

Les modes de condamnation ou de consignation des organes seront également passés en revue.

⁴Ce qui nécessitera qu'il dispose des habilitations nécessaires.

Parmi ces situations, celles qui ont un caractère critique pour la sécurité industrielle seront identifiées (« tâches critiques »).

Après validation, ce recensement deviendra une référence commune, qui servira de base à la réflexion sur les solutions envisagées.

5.4 Les repères FHO pour la conception technique

À partir des informations sur le projet et de l'analyse des situations existantes, il devient possible de rédiger des « repères FHO pour la conception », qui alimenteront la réflexion de la MCE et/ou les cahiers des charges.

Certains de ces repères FHO pour la conception ont une validité plutôt générale (par exemple des normes dimensionnelles, certaines spécifications de conception d'IHM), alors que d'autres sont spécifiquement liées à la nature des situations d'exploitation qui ont été identifiées.

Trois principaux types d'information peuvent ainsi être transmis à la MCE (après validation par le CPMO).

5.4.1 L'explicitation des situations d'exploitation

La liste des situations d'exploitation et de leurs caractéristiques qui a été établie doit être transmise à tous les concepteurs : lors du dessin de chaque partie de l'installation, la réflexion pourra ainsi porter sur toutes les opérations réalisées dans la zone. Les concepteurs pourront penser dès le début à l'accessibilité pour chaque opération, et à des solutions limitant la pénibilité et favorisant la réalisation sûre des tâches.

Les situations ainsi recensées seront à la fois les situations d'exploitation récurrentes normales, des modes dégradés, et des situations critiques. Certaines de ces situations pourront être génériques (par exemple : tous les prélèvements d'échantillons), d'autres spécifiques (un incident particulier).

Les informations transmises alertent les concepteurs sur la nécessité de prendre en compte d'autres opérations que le fonctionnement normal et de se poser pour chacune une série de questions (encadré ci-dessous).

Les situations présentant un caractère critique pour la sécurité seront identifiées comme telles, notamment ce qui concerne la manœuvre d'organes sensibles (par exemple, priorisation des vannes).

Ces informations sur les situations d'exploitation à prendre en compte **ne préjugent en rien des solutions** que les concepteurs trouveront pour les favoriser.

Pour chaque opération à réaliser

Caractéristiques générales de l'opération

- Objectifs ?
- Contraintes temporelles de l'opération ?
- Situation géographique, nature de l'environnement, espace disponible, intempéries

Dimensions physiques de l'opération

- Accessoires (nature, poids)
- Nécessité de poser des accessoires pendant l'opération
- Tenue portée par l'opérateur (EPI)
- Quels sont les efforts à exercer ? Quelles sont les postures souhaitables compte tenu de la nature de l'opération ? Quels sont les déplacements ?
- Exigences de précision

Dimensions cognitives et collectives

- Comment identifie-t-on avec certitude l'organe concerné ?
- Qu'a-t-on besoin de voir ? Qu'a-t-on besoin d'atteindre, de toucher, d'actionner ?
- Avec qui a-t-on besoin de communiquer ? Quelles informations a-t-on besoin de recevoir ? Quelles informations doit-on transmettre à qui ? Sous quelle forme ?
- Que faut-il garder comme information en mémoire ?
- Quelles sont les collaborations nécessaires ? Les synchronisations avec autrui ?
- Comment peut-on contrôler le résultat de l'opération ?
- Quels sont les incidents susceptibles de se produire ? Comment s'en aperçoit-on ? Comment les résout-on ?

Risques

- À quels risques est-on exposé ? Toxiques, bruit, chaleur, risques procédé...

5.4.2 Les spécifications ergonomiques

Sur certains sujets, les connaissances en ergonomie sont suffisamment précises pour pouvoir fixer aux concepteurs des objectifs normatifs. Il s'agira par exemple :

- des spécifications anthropométriques (dimensions du corps humain) et de leurs conséquences sur le dimensionnement des organes, les escaliers, *etc.* ;
- des efforts maximaux pour la manipulation d'une commande ou la manutention de charges ;
- de l'éclairagisme ;
- des niveaux sonores acceptables ;
- de l'exposition à des facteurs de risques physico-chimiques ;
- de certaines caractéristiques des IHM, notamment de présentation de l'information sur l'état de l'installation ;
- d'objets de conception pour lesquels il existe des standards de l'entreprise, de la branche, *etc.* (par exemple passerelles, échelles, vannes...) ⁵ ;
- ...

⁵Les exploitants seront associés à la détermination des piquages et prises d'échantillons nécessaires.

D'autres spécifications peuvent viser à assurer l'homogénéité avec le reste de l'installation existante : standards de dénomination ou de numérotation, d'usage des couleurs, d'étiquetage...

Sur certains sujets, la spécification n'impose pas seulement des critères à respecter, mais une grille de questions à se poser.

Exemple : pour chaque vanne

- Situation sur l'unité, éloignement par rapport au dispositif alimenté
- Usage (Régulier ? Progressif ou tout ou rien ?). Vanne grasse ? Acide ?
- Environnement (chaleur, projections)
- Vêtements spéciaux ?
- Identification, graduation
- Degré d'urgence de la manœuvre ? Durée de la manœuvre ?
- Position et orientation du volant ? Type et diamètre du volant ? Effort de rotation ?
- Position des indicateurs indiquant le résultat de la manœuvre ?
- Besoins de communication pendant la manœuvre
- Posture pendant la manœuvre (pieds, yeux)
- Accessibilité pour l'entretien et la maintenance, graissage, démontage
- Modalité de condamnation/consignation.

L'objectif de telles grilles d'analyse est de favoriser une vigilance FHO distribuée parmi toute l'équipe de conception : si, lors de l'implantation de chaque vanne, le concepteur passe quelques minutes à envisager ces questions, les problèmes soulevés lors des simulations seront beaucoup moins nombreux et plus faciles à résoudre.

5.4.3 Prévoir les besoins ultérieurs de la démarche FHO

Lors de la rédaction des cahiers des charges, il est important de signifier aux fournisseurs les prestations qui seront ultérieurement attendues d'eux pour les besoins de la démarche FHO. Il peut s'agir par exemple :

- d'interactions régulières entre les concepteurs et les intervenants FHO, pour assurer la bonne prise en compte des repères de conception ;
- de la fourniture de plans ou de maquettes ;
- de la présence du fournisseur à certaines réunions ;
- des manuels d'utilisation de certains matériels (en spécifiant la langue) ;
- de visites chez le fournisseur lors de l'assemblage des matériels ;
- de la participation du fournisseur à certaines séances de formation ;
- des exigences FHO pour la préparation du chantier ;
- des formes de sa présence au moment du démarrage ;
- ...

Toutes les prestations qui sont annoncées dès le cahier des charges sont incluses dans le prix de la fourniture mise en concurrence lors de l'appel d'offres. En revanche, si, pour les besoins de la démarche FHO, certains de ces besoins sont exprimés tardivement, il est probable que le fournisseur les facturera à un autre montant... Mieux vaut donc anticiper l'ensemble des étapes de la démarche FHO dès ce stade.

5.5 Les simulations de l'activité future

La démarche FHO en conception repose sur la combinaison de deux dynamiques articulées : d'un côté l'analyse de l'activité dans les situations existantes, de l'autre les simulations de l'activité future.

Ces dernières visent à mettre à l'épreuve les solutions techniques et organisationnelles prévues, à partir de la question « *Si ces solutions sont retenues, comment fera-t-on pour réaliser les opérations d'exploitation ? Quels problèmes cela peut-il poser ? Quelles orientations de solutions peut-on envisager ?* ».

Ces simulations doivent évidemment être planifiées en fonction du calendrier de la conception technique.

5.5.1 Différents niveaux de questionnement

La mise en place de simulations approfondies des situations d'exploitation est une opération relativement lourde, qui doit être soigneusement planifiée par rapport aux études techniques, pour que ces dernières puissent intégrer les résultats des simulations sans que cela retarde le déroulement de la conception.

En fait, on peut recourir à plusieurs niveaux de questionnement pour s'assurer que les solutions conçues seront exploitables :

- Des revues « *what if* » entre équipe de projet, responsables d'exploitation, d'automatisme *etc.*, et spécialiste FHO, qui ne constituent pas des simulations de l'activité humaine, mais permettent de confronter les solutions prévues et les stratégies d'exploitation possibles pour les principales situations critiques : « *si les deux pompes principales s'arrêtent, est-ce qu'on continue avec la pompe de secours ou est-ce qu'on met en arrêt ?* ». Ces revues permettent de fixer des stratégies d'exploitation acceptées de tous, de détecter la nécessité d'ajouter des automatismes ou de modifier certains équipements, d'identifier l'importance de formations ou de procédures spécifiques, *etc.* ;
- Des pré-simulations expertes de « déverminage », rassemblant les concepteurs concernés, un spécialiste FHO et un exploitant : le concepteur explique le fonctionnement prévu, et le questionnement par le spécialiste FHO et l'exploitant permet de détecter et de corriger des points bloquants majeurs ;
- Des simulations détaillées de l'activité future, qui vont maintenant être décrites.

5.5.2 Des simulations progressives et itératives

Au cours des études de base et au début des études de détail, les simulations portent sur des grandes options techniques et organisationnelles : composition des équipes et répartition des fonctions, implantation des principaux matériels, flux de produits, de déchets, circulation des personnes et des véhicules, implantation et configuration de la salle de contrôle...

Au fur et à mesure de l'avancée des études de détail, les simulations vont s'intéresser à des aspects plus précis, comme l'accessibilité et la conception de détail de certaines zones ou de certains matériels, la présentation de l'information sur les vues d'écran ou les pupitres décentralisés...

Lorsqu'une simulation met en évidence des problèmes qui nécessitent une reprise d'études, la nouvelle solution fera l'objet d'une nouvelle simulation, notamment pour vérifier que le traitement d'un problème n'a pas généré comme effet secondaire de nouvelles difficultés ailleurs.

Si des options de conception significatives sont modifiées en cours d'étude, la cohérence d'ensemble doit être vérifiée à nouveau par un retour à des simulations plus globales.

5.5.3 Les deux grands types de simulations

Il existe deux grands types de simulations de l'activité future.

Les simulations expérimentales grandeur nature

Dans certains cas, il existe une préfiguration grandeur nature d'une partie de l'installation : maquette bois ou carton à l'échelle 1, prototype, simulateur pleine échelle. Il peut notamment

s'agir d'un pilote industriel, ou d'un simulateur des moyens de conduite (salle de contrôle...). La simulation consiste alors à faire « jouer » sur ce dispositif les scénarios retenus, à observer et analyser l'activité ainsi mise en œuvre : de vrais travailleurs déploient une vraie activité sur un dispositif « presque vrai ». Cette méthode est utilisée par exemple dans la conception des salles de contrôle des paliers nucléaires, la conception de nouvelles organisations du trafic aérien, ou les cabines de conduite des matériels de transport. Elle est pour l'instant rare dans l'industrie chimique ou pétrochimique.

L'utilisation d'un simulateur grandeur nature

Le simulateur grandeur nature peut être un moyen de tester la répartition des tâches, l'organisation des opérations et l'aménagement de l'espace dans un local (cellule de crise, salle de contrôle, salle de régulation de secours...), en reconstituant à l'échelle 1 les principales caractéristiques de la pièce. Les moyens techniques associés (informatique, moyens de communication) peuvent être plus ou moins proches de la version cible. Le simulateur doit être conçu pour que les conditions d'ambiance soient proches de la future réalité (éclairage, pas de bruit parasite) et notamment que les observateurs puissent être positionnés à l'extérieur des zones de travail.

La préparation de la simulation suppose le recrutement et la formation d'opérateurs représentatifs de la future population, par des formateurs ayant une bonne compréhension du futur système. Une documentation provisoire doit être établie.

Les scénarios sont préparés avec un fort souci du détail. Pendant le déroulement de la simulation, un instructeur « injecte » des éléments de contexte en temps réel (une nouvelle alerte, un changement météorologique...).

Les informations recueillies pendant l'expérimentation portent sur l'activité des opérateurs en temps réel, mais aussi sur le ressenti (questionnaires ou entretiens individuels, réunion-bilan collective). Elles sont traitées pour évaluer :

- l'efficacité du système simulé (sa capacité à atteindre les objectifs) ;
- son efficacité (les ressources qui ont dû être impliquées pour atteindre les objectifs et les formes de coûts humain et économique associés) ;
- les points de fragilité (incompréhensions, risques d'erreurs...).
- ...

Les simulations par récit sur un support à échelle réduite

À défaut d'une simulation grandeur nature, l'activité future devra être abordée à partir de supports à échelle réduite : plans, maquettes. La simulation consiste alors à décrire oralement l'activité future des opérateurs, représentés dans le support par des « avatars », (par exemple des figurines à l'échelle), qui réalisent différents scénarios [VanBellegem 2012]⁶. L'intervenant FHO doit disposer des compétences permettant de contrôler le caractère vraisemblable du récit ainsi construit.

5.5.4 Les « ingrédients » de la mise en place de simulations

Pour pouvoir mettre en place des simulations de l'activité future, quatre « ingrédients » doivent être réunis.

Un accord social

Il n'est pas possible de faire participer des opérateurs à des réunions de simulation sans que l'ensemble de la démarche ait été préalablement présenté aux instances représentatives du personnel, à l'encadrement et aux équipes du secteur concerné.

⁶La représentation des opérateurs par des avatars a pour objectif qu'ils puissent conduire la simulation à la première personne "je fais ceci" au lieu d'utiliser une forme impersonnelle ("il faudra faire ceci").

Les participants

Trois types de compétences sont nécessaires parmi les participants à la simulation :

- une capacité à décrire le futur système tel qu'il est actuellement prévu, portée par un ou des membres de l'équipe de conception (équipe projet, maîtrise d'œuvre, fournisseur);
- une expérience de situations d'exploitation voisines de celles qui se dérouleront dans le futur système : celle-ci est portée par des exploitants (opérateurs et encadrement de proximité);
- dans certains projets, des compétences relatives aux risques spécifiques et à leur prévention;
- une compétence de conduite de la simulation, portée par l'intervenant FHO du projet, qui est le garant de la méthode, l'un des détenteurs de connaissances sur les situations existantes, le porteur d'une capacité de vigilance, d'analyse et de compte rendu sur le déroulement de la simulation.

Concernant la représentation des exploitants, plusieurs situations peuvent se présenter :

- Il arrive que, en début de projet, la maîtrise d'ouvrage ne soit pas très assurée de la viabilité des premières hypothèses organisationnelles auxquelles elle réfléchit. Elle peut souhaiter qu'une première série de simulations « de débroussaillage » ait lieu uniquement avec l'encadrement d'exploitation, pour pouvoir ensuite effectuer avec les équipes des simulations plus approfondies sur des hypothèses « présentables ».
- Si – comme il est souhaitable – les futurs opérateurs d'exploitation et l'encadrement de proximité de la future unité, ou au moins une partie d'entre eux, sont déjà connus, c'est avec eux que les simulations doivent être réalisées : elles contribueront en effet de façon puissante à leur découverte de la future installation et à leur formation. Si ce n'est pas le cas, on choisira des opérateurs ayant des compétences voisines de celles qui seront requises dans la future unité.

Le choix des opérateurs se fait en deux phases :

- ▷ la définition des profils de compétences nécessaires (par exemple, un opérateur de salle de contrôle, un opérateur extérieur habilité sur telle installation, un chef de quart, un chargé de maintenance...);
- ▷ un appel au volontariat après information des équipes sur la démarche.

Chaque groupe de travail ne pourra pas comporter plus de huit à dix personnes. Plusieurs groupes de travail peuvent être chargés d'explorer en parallèle plusieurs aspects de la conception, à condition que des membres communs veillent à la cohérence d'ensemble.

La planification bien à l'avance des séances de simulation est nécessaire pour permettre la gestion des remplacements des travailleurs postés concernés mais aussi l'articulation précise par rapport aux échéances de conception.

Les supports de simulation

Il n'est possible de procéder à des simulations de l'activité future que si le futur système est représenté dans ses dimensions techniques et organisationnelles.

- L'organisation future est représentée sous forme d'hypothèses organisationnelles (organigramme et définition des fonctions envisagés).
- Le système technique peut être représenté par différents types de supports qui n'ont pas les mêmes propriétés pour la simulation de l'activité future.
 - ▷ Des plans d'ensemble sont nécessaires pour le repérage des implantations des différents matériels. Ils sont parfois très difficiles à lire pour des non-spécialistes de la conception.

- ▷ Des vues 3D⁷ permettent une meilleure compréhension de la configuration des installations par les exploitants. Elles sont donc très utiles, mais souvent difficiles à utiliser comme support de simulation, dans la mesure où il est difficile d'y faire « rentrer » les « avatars » représentant les opérateurs et les outils. Certains logiciels de CAO permettent d'intégrer des mannequins humains sur la représentation, mais il faut notamment se méfier de l'extrême souplesse des articulations et de la colonne vertébrale de ces mannequins informatiques, qui réalisent des prouesses de contorsionniste non recommandées pour des opérateurs d'exploitation ! D'autre part, les modifications des données de CAO en temps réel ne sont pas simples, et imposent le filtre d'un technicien compétent entre les suggestions des participants et l'introduction dans le logiciel.
- ▷ Des représentations en réalité virtuelle sont parfois utilisées. Elles sont aussi un bon support de compréhension, mais il faut être très prudent dans leur utilisation comme support de simulation. Sur la plupart des logiciels, la détection des interférences et des traversées de corps⁸ est encore approximative.
- ▷ Des maquettes physiques à échelle réduite sont un excellent support de simulation. Elles sont faciles à réaliser pour la salle de contrôle⁹, ou pour une zone particulière de l'installation présentant des problèmes particuliers. Pour les grandes installations de production, une maquette physique détaillée de l'ensemble est d'une réalisation complexe et d'un coût élevé. Elle ne serait utilisable pour l'approche FHO que si elle était déjà réalisée, dans d'autres objectifs, pour l'équipe de conception ou pour les besoins de la formation.
- ▷ Des maquettes physiques à échelle 1 peuvent être nécessaires pour la mise au point d'une zone particulière très complexe. Il n'est souvent pas nécessaire qu'elle soit sophistiquée : un bon bricolage avec quelques morceaux de carton, de bois, et quelques tuyaux permet souvent de détecter des problèmes invisibles sur les plans, ou de lever un doute.
- ▷ Un prototype peut être réalisé quand un matériel spécial sera utilisé en un grand nombre d'exemplaires.
- ▷ Des maquettes informatiques (contenu des vues d'écran) peuvent être produites avant que la programmation soit réalisée.

Cette liste de supports n'est bien entendu pas limitative, le choix du support doit être adapté à la phase de conception et à l'objectif de la simulation.

Outre le support principal de simulation, il est nécessaire de prévoir des « avatars » représentant à l'échelle les opérateurs, les véhicules, certains outils ou objets du travail (par exemple, un fût, une machine mobile).

Les scénarios de simulation

Il n'est bien sûr pas possible de simuler l'ensemble des situations susceptibles de se produire dans la future installation. Un nombre limité de scénarios, considérés comme dimensionnants, doit être retenu après discussion au sein du groupe de travail.

Concernant l'examen des grandes options techniques et organisationnelles, plusieurs types de scénarios sont en général nécessaires :

- des scénarios relatifs aux opérations quotidiennes de base (par exemple, réalisation des rondes ou tournées, signature des permis de travaux...);
- des scénarios relatifs à des opérations périodiques présentant quelques difficultés (démarrage, changement de produit, interventions de maintenance périodiques...);
- des scénarios relatifs à des incidents fréquents ou critiques;

⁷Dans le cas de la modification d'installations existantes, la technique qui consiste à superposer de façon rigoureuse des vues de l'existant et des schémas en CAO est particulièrement utile.

⁸Situation où, en réalité virtuelle, un objet traverse un autre (sans qu'on le détecte).

⁹Pour la démarche FHO, une bonne maquette n'est pas une belle maquette, comme celles que réalisent parfois les architectes : ces dernières sont totalement figées, et ne permettent pas la dynamique de la simulation (« et si on déplaçait ça ? »). Une maquette en carton-plume avec des matériels représentés en mousse de polyuréthane sera moins esthétique, mais beaucoup plus flexible.

- des scénarios très peu fréquents (maintenance lourde, changements d'équipements ou de dispositifs de stockage de produits, montée de gamme des automatismes ...) qui n'auraient pas été vécus par les équipes mais sont proposés par les experts.

Concernant la mise au point détaillée d'une zone ou d'un matériel, les scénarios porteront sur les principales opérations réalisées dans cette zone.

Les scénarios sont bien entendus issus du recensement des « situations d'exploitation » effectués antérieurement. Mais, pour permettre la mise en scène, le script d'un scénario est plus concret que le libellé de la situation d'exploitation.

Par exemple

Si l'on s'intéresse à la situation d'exploitation « perte du réseau vapeur », le scénario pourra être libellé de la façon suivante : « *Imaginons, on est samedi, il est 5h30, l'installation est dans tel état avec tel type de produit, le réseau vapeur déclenche.* » Cette formulation va immédiatement « parler » aux différents participants, qui pourront se représenter une situation particulière et non une classe de situations. Il est d'ailleurs vraisemblable qu'ils proposeront de spécifier encore plus la situation avec des facteurs aggravants : « *on pourrait dire que le vent souffle du sud-est, donc que les rejets éventuels iraient sur la ville.* »

5.5.5 Le déroulement de la simulation

Si l'on est dans le cas d'une simulation expérimentale grandeur nature, des opérateurs vont « jouer » le scénario, et leur activité va être observée. Si l'on est dans le cas d'une simulation par récit, il va s'agir de décrire l'ensemble des activités susceptibles de se dérouler dans le temps et dans l'espace.

La représentation du déroulement dans le temps

Heure	9 :10	9 :15	9 :20	9 :25	9 :30	9 :35	9 :40
Opérateur 1	Vanne A	Pompe D		Vannes L,M		Vanne N	Vanne A
Opérateur 2	Pompe B		Vannes E et F		Pompe B		Vanne E
Opérateur 3	Vanne C		Pompe G	Vannes H, I, J, K		Vanne N	Vanne C

TABLE 5.1 – Simulation du déroulement temporel d'une activité.

Le tableau 5.1 représente un exemple de déroulement d'une opération mobilisant trois opérateurs, qui doivent à un moment donné être disponibles en même temps pour effectuer une opération ensemble sur la vanne N.

Avant sa saisie dans un tableur, un tel déroulement temporel est facilement représenté au tableau blanc, en utilisant des aimants ou des notes autocollantes.

L'estimation du déroulement temporel est basée à la fois sur les données techniques de procédé, sur l'évaluation des temps de déplacement à partir des plans, et la prise en compte de la pénibilité de certaines opérations (vannes exigeant un effort important...). Les temps de communication, parfois substantiels, doivent être intégrés.

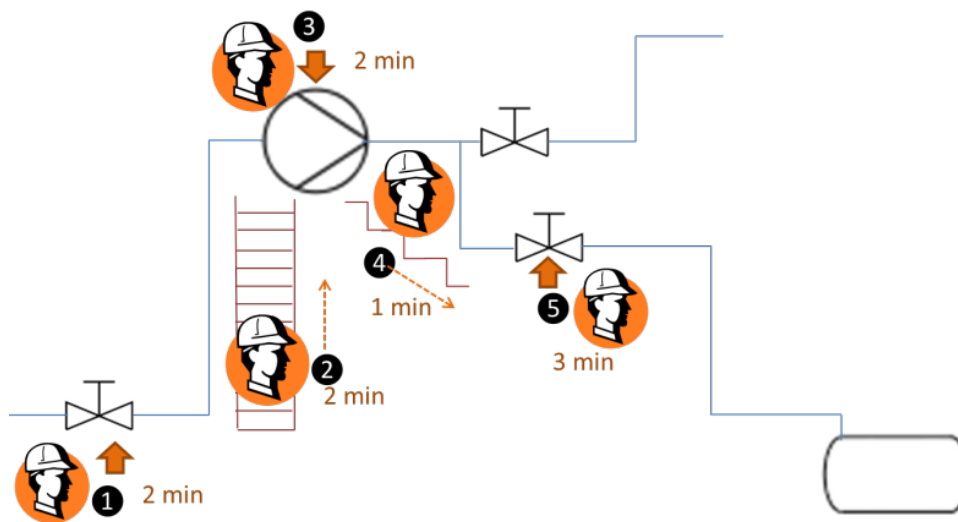


FIGURE 5.1 – Estimation de la durée d'une opération

La représentation spatiale du déroulement

Dans certains cas, l'activité est statique (par exemple devant les écrans de la salle de contrôle) : la simulation spatiale vise à vérifier le dimensionnement et les postures. Mais dans d'autres cas, la réalisation de l'activité implique un déplacement de l'opérateur, représenté par le déplacement d'un « avatar » sur le plan ou la maquette. Il est utile dans ce cas que l'avatar soit déplacé par l'opérateur réel représentant la fonction simulée, et qu'il décrive au fur et à mesure le déroulement de l'opération (« je vérifie la pression; je ferme la vanne; je monte à l'étage; j'arrête la pompe... »).

Le contrôle de la vraisemblance du récit

Au fur et à mesure que l'opération est décrite, il s'opère un quadruple contrôle de sa vraisemblance par les différents participants :

- **la continuité dans l'espace et dans le temps** : si la description est « je fais ceci en A puis je fais cela en B », il faut s'interroger sur le cheminement entre A et B; si un opérateur déclare « prendre la clé à vanne », il faut vérifier l'emplacement prévu de celle-ci; si l'opérateur énonce « je referme la vanne de refoulement », l'un des participants notera peut-être « attends, tu ne nous a jamais dit que tu l'ouvrais »;
- **la compatibilité avec les règles d'exploitation** : « non, on ne peut pas démarrer cette pompe avant que... »;
- **la prise en compte de toutes les opérations de traitement de l'information** : par exemple, vérifier un niveau avant d'agir sur une vanne, contrôler le résultat d'une action;
- la vraisemblance par rapport aux **propriétés perceptives et physiologiques humaines** : deux opérateurs ne peuvent échanger des informations orales à deux mètres l'un de l'autre dans un environnement bruyant obligeant au port de bouchons d'oreilles... un opérateur ne peut pas lire des caractères de 15 mm de haut sur un afficheur situé à 5 m...

Les points de vigilance

Au fur et à mesure du récit du déroulement de l'opération, plusieurs aspects font l'objet d'une vigilance particulière :

- **la disponibilité de l'information** : comment l'opérateur sait-il qu'il doit démarrer une opération? Que celle-ci a abouti? Par exemple, si « quand le réservoir est plein,

l'opérateur ferme la vanne », comment sait-il que le réservoir est plein ? L'information est-elle disponible à proximité de la vanne ? Doit-il appeler la salle de contrôle ?

- **les ambiguïtés et les risques d'erreur** : lorsque des organes ou réservoirs similaires se trouvent à proximité les uns des autres, avec des dénominations voisines, quels sont les détrompeurs ? Lorsqu'un réseau de tuyauteries et de vannes permet d'établir un grand nombre de connexions différentes, quels indices permettent de vérifier que le bon lignage a été réalisé ?
- **la pénibilité et l'exposition à des dangers** : la multiplication de montées et descentes d'échelles ou d'escaliers pour une même opération, la manipulation de vannes lourdes, la manutention de charges, le maintien prolongé dans une zone nécessitant le port d'EPI inconfortables, l'isolement prolongé d'un salarié, la présence dans des zones très sales...
- **les conséquences possibles de la survenue d'aléas prévisibles**, et notamment de l'indisponibilité d'un matériel critique : si la sécurité d'une opération dépend entièrement d'un contact radio, que se passe-t-il en cas de panne de la radio ? Le raisonnement est ici équivalent à celui des *what-if reviews*.

Assez souvent, en même temps que la simulation explicite le déroulement de l'activité humaine, les spécialistes du procédé présents détectent des enjeux techniques : en cas de panne d'air instrument, la vanne doit-elle rester fermée ou ouverte ? Si tel capteur est défaillant, a-t-on un moyen de s'en apercevoir ?

5.5.6 Les résultats de la simulation

La simulation a pour objectif de détecter d'éventuelles difficultés à un stade de la conception où les modifications peuvent être opérées sur plan, avant réalisation. Elle peut déboucher sur plusieurs types de résultats :

- dans certains cas, elle confirme que les solutions prévues devraient permettre un déroulement facile de l'opération ;
- dans d'autres, elle met en évidence des difficultés possibles, mais des solutions simples sont imaginées, elles paraissent acceptables aux concepteurs concernés, et n'entraînent pas de surcoût significatif (élargissement limité d'une plateforme, déplacement d'un escalier, ajout de détrompeurs...) : elles pourront alors être entérinées sur le champ, sans nécessiter l'aval d'autorités supérieures ;
- parfois, les solutions sont imaginées, mais elles sont susceptibles d'entraîner un surcoût : une validation, par exemple par le CPMO, sera nécessaire ;
- enfin, dans certains cas, les simulations soulèvent un problème sérieux, qui nécessite une reprise d'études. Une nouvelle simulation aura lieu ultérieurement, après modification de la solution.

La communication des résultats

Les résultats synthétiques des simulations seront communiqués rapidement :

- à tous les participants du groupe de travail ;
- au chef de projet ;
- à la maîtrise d'ouvrage, au moins quand des arbitrages sont nécessaires ;
- aux concepteurs concernés ;
- aux responsables d'exploitation.

Des synthèses de l'évolution des solutions seront présentées périodiquement aux instances représentatives du personnel et aux équipes concernées.

La traçabilité des résultats des simulations

Il est important de garder trace des étapes successives des simulations et de leurs résultats :

- pour vérifier la bonne intégration ultérieure dans les choix de conception ;
- pour alimenter l'itération ultérieure de simulation après modification des plans ;
- mais aussi pour pouvoir argumenter les réponses aux demandes ultérieures de la tutelle.

Nous présentons maintenant un exemple de simulation, portant sur la mise à l'épreuve d'hypothèses organisationnelles. Deux autres exemples sont décrits en annexes : la conception de la salle de contrôle (annexe A), la conception des vues de conduite (annexe B).

5.5.7 Un exemple : la mise à l'épreuve d'hypothèses organisationnelles

Des hypothèses organisationnelles sont émises pour la nouvelle unité, mais la maîtrise d'ouvrage souhaite s'assurer qu'elles permettent d'assurer un fonctionnement sûr, et notamment qu'il est possible d'arrêter l'installation en sécurité en toute circonstance.

Il est alors possible de procéder, comme indiqué ci-dessus, à des simulations organisationnelles.

- Les participants seront sans doute dans un premier temps l'encadrement de proximité et des membres de l'équipe projet. Lorsqu'un premier « débroussaillage » aura été effectué, les simulations pourront être affinées avec des opérateurs.
- Deux types de supports sont nécessaires :
 - ▷ une description de l'organisation envisagée (effectifs, périmètres des fonctions, niveau de qualification, nature des habilitations...) ;
 - ▷ une représentation de la future unité, permettant d'estimer notamment le temps des opérations à réaliser.
- Les premiers scénarios utilisés concerneront le fonctionnement quotidien ordinaire (organisation des tournées ou rondes) et quelques incidents dimensionnants. Si l'hypothèse organisationnelle envisagée passe avec succès cette première épreuve, elle pourra être testée à la lumière de scénarios plus divers.
- L'accent sera mis sur le déroulement temporel de l'activité collective : comme dans le tableau 5.1, les diverses opérations réalisées par les différents opérateurs pour gérer la situation simulée seront représentées temporellement. Cette représentation permet de vérifier si, avec l'organisation prévue, il est possible de réaliser toutes les opérations nécessaires dans des délais compatibles avec la sécurité. Elle montre également si les opérations nécessitant la présence de plusieurs opérateurs sont réalisables¹⁰, si des moments de coordination de l'équipe sont possibles, *etc.*
- Un point de vigilance particulier portera sur le fait de ne pas faire « travailler » un même opérateur à deux endroits au même moment... Il est classique, par exemple, que dans des simulations de gestion d'un incendie, un opérateur soit compté une fois comme pompier volontaire tenant la lance, et une fois comme opérateur fermant les vannes...
- La simulation peut déboucher sur différents résultats :
 - ▷ l'hypothèse organisationnelle a passé avec succès toutes les épreuves auxquelles elle a été soumise : cela ne garantit pas qu'il ne puisse pas survenir un jour une configuration non prévue, susceptible de mettre l'organisation en difficulté ; mais l'hypothèse actuelle peut servir de base à la négociation sociale, à la construction des plans de formation et être expérimentée grandeur nature pour le démarrage ;

¹⁰Ce qui suppose que les différents opérateurs concernés aient bien les habilitations nécessaires, qu'ils soient disponibles simultanément...

- ▷ la simulation met en évidence des difficultés pour la réalisation de certaines opérations, mais il apparaît que celles-ci peuvent être traitées par des solutions techniques (motorisation de vannes, affichage ou commande à distance, ajout de passerelles, modification du système de prélèvement des échantillons...). Sous réserve de la réalisation de ces modifications, l'hypothèse organisationnelle paraît viable ;
- ▷ l'hypothèse organisationnelle est mise en difficulté par des scénarios d'exploitation réalistes. Elle doit, dans ce cas, être revue : modification de la répartition des tâches, augmentation du périmètre de responsabilité et d'habilitation de certains opérateurs, augmentation nécessaire de l'effectif... Une nouvelle série de simulations aura lieu avec une hypothèse modifiée.

5.5.8 D'autres résultats des simulations

Le premier résultat des simulations de l'activité future est d'évaluer la viabilité des solutions techniques et organisationnelles envisagées¹¹, de détecter des problèmes éventuels, et de permettre leur correction dès le stade de la conception, sans avoir à attendre le démarrage pour intervenir.

Mais la simulation de l'activité future produit bien d'autres résultats [Barcellini et al. 2013] :

- elle permet la découverte anticipée des installations et des procédés par les opérateurs qui y participent, contribuant ainsi à leur formation et à leur maîtrise de l'unité ;
- de même, la simulation contribue à l'information de l'encadrement d'exploitation sur le projet, et favorise sa réflexion sur l'intégration de la nouvelle unité ;
- les discussions entre opérateurs et experts procédé peuvent déboucher sur la définition d'un mode opératoire plus pertinent que celui qui était envisagé ;
- les concepteurs découvrent des contraintes de l'activité auxquelles ils n'avaient pas pensé, et qu'ils pourront désormais prendre en compte directement dans les autres solutions qu'ils concevront ;
- la contribution de chacun des acteurs présents permet une meilleure connaissance mutuelle, et une reconnaissance réciproque des compétences des uns et des autres ; cet apprentissage croisé contribue souvent à une amélioration des relations sociales ;
- l'implication des opérateurs et de l'encadrement dans le projet pourra servir de base au développement d'un management directif-participatif¹², notamment en matière de sécurité industrielle, dans la future installation.

Une autre série d'effets indirects concerne la préparation des plans de formation, et la rédaction des procédures.

5.5.9 Les effets sur la formation

Nous reviendrons en détail dans le chapitre 6 sur la préparation des plans de formation. Mais on constate dès maintenant que **la simulation des opérations d'exploitation est un très puissant moyen de formation** : elle repose en effet non sur un apprentissage passif, mais sur une exploration active, par les opérateurs, des données techniques qui leur sont fournies, et sur la recherche d'une réponse adaptée à la situation.

Pour autant, il est rare que l'ensemble des futures équipes d'exploitation participe aux séances de simulation mises en place dans le cadre du projet de conception. Il existe donc un risque que ceux qui y ont participé acquièrent une bien meilleure maîtrise du futur système que ceux qui en ont été absents. On risquerait alors de voir apparaître une progression de carrière plus rapide pour les « volontaires » des groupes de travail que pour les autres, ce qui n'est pas l'objectif recherché.

¹¹Il est fréquent que des simulations organisationnelles mettent en évidence la nécessité de modifications techniques pour que l'organisation soit viable : ajout de passerelles, d'automatismes, etc.

¹²Voir Cahiers « État de l'art » section 9.2 [Daniellou et al. 2010], et « Des questions pour progresser », chapitre 4 [Daniellou 2012].

Pour éviter cet écueil, il est possible d'utiliser les mêmes techniques de simulation comme outil pédagogique dans les séances de formation concernant toutes les équipes. Plutôt qu'une transmission magistrale des modes opératoires prescrits, les formateurs peuvent favoriser une recherche active, à partir des données techniques, du mode opératoire correct pour mener à bien une opération. Le déroulement de celle-ci peut, là aussi, être décrit dans le temps et dans l'espace.

5.5.10 Les effets sur l'écriture des procédures

Lorsque la réalisation d'une opération a été réalisée de bout en bout, en associant des experts procédé, l'encadrement et les opérateurs d'exploitation, la procédure correspondante est quasi écrite.

La même méthode peut être ensuite utilisée pour l'écriture des autres procédures, à partir d'une description spatio-temporelle de la réalisation des opérations. Cette approche contribue au réalisme des procédures, et évite par exemple de demander sans s'en apercevoir à un opérateur de monter et descendre plusieurs échelles pour réaliser une série d'opérations, qui auraient tout aussi bien pu se réaliser dans un autre ordre (des organes proches sur les schémas de procédé ne le sont pas forcément géographiquement)...

La formation

En bref

Les besoins de formation des futurs opérateurs doivent être anticipés, pour permettre une bonne appropriation de la nouvelle unité. La formation vise à développer des compétences d'exploitation, ce qui suppose d'introduire dans la pédagogie des moyens de « faire pour apprendre ». La formation des travailleurs les plus expérimentés doit faire l'objet d'une réflexion particulière.

Dans ce chapitre nous évoquerons la formation des futurs opérateurs de production et de maintenance, et leur appropriation de la nouvelle installation.

6.1 Préparer aux situations futures

La préparation d'un programme de formation nécessite de répondre à trois familles de questions :

- quelles sont les compétences initiales des personnes que l'on veut former ?
- quelles sont les compétences cibles qu'elles doivent pouvoir acquérir ?
- quelles méthodes pédagogiques pour passer de l'état initial à l'état cible ?

La notion clé est ici celle de compétences, et non celle de connaissances.

Définition

Compétence

Une compétence est la **capacité à gérer une famille de situations**, en mobilisant différentes ressources : des connaissances, des habiletés physiques, des capacités perceptives, des collaborations avec d'autres, etc.

Un programme de formation ne se définit pas à partir de la question « *que devront savoir les opérateurs pour tenir leurs nouvelles fonctions ?* », mais en se demandant « *quelles familles de situations devront-ils être capables de gérer ?* ».

Or, dans la démarche qui a été proposée jusqu'ici, cet inventaire des situations est déjà largement effectué, puisque les acteurs du projet ont procédé à un recensement des situations d'exploitation futures (chapitre 5). Il est facile de déterminer, pour chaque catégorie d'opérateurs, celles de ces situations qui concernent sa fonction, et d'établir ainsi une liste de situations cibles par fonction.

La question suivante consiste à identifier, dans chacune de ces situations, « *de quoi les opérateurs devront-ils être capables ?* » (identifier une situation, effectuer une manœuvre, contrôler un résultat, rédiger un compte rendu, signaler une anomalie...).

On peut alors recenser les différentes **ressources** que la formation devra offrir, par exemple :

- des informations sur les objectifs du projet et les enjeux (économiques, techniques, environnementaux) du bon fonctionnement de l'unité ;
- des connaissances sur le procédé physico-chimique, utiles pour identifier une situation ou décider d'une conduite à tenir ;
- des moyens de se construire une représentation précise de la disposition de la future installation, à partir d'informations à jour sur l'avancement des solutions ;
- des connaissances sur les dangers et les risques, mais aussi des savoir-faire de prudence pour la réalisation de certaines opérations ;
- la possibilité d'apprendre la réalisation d'opérations d'exploitation qui ne sont pas déjà connues par l'expérience antérieure ;
- une aide à l'acquisition de compétences de compte rendu, de signalement de risques, *etc.*
- ...

6.2 Planifier les actions de formation

Il n'est pas souhaitable que l'ensemble du processus de formation soit concentré à la fin des études, pendant la réalisation du chantier. Une organisation progressive de la formation, dès les études de détail, permettra une meilleure interaction entre les éléments acquis en formation et ceux qui proviennent des informations sur l'avancement du projet et de l'éventuelle participation aux groupes de travail mis en place. Une telle organisation désamorce nombre de craintes et de réticences, favorise l'acceptabilité du projet, renforce la confiance des opérateurs dans leurs capacités, et contribue à la constitution des collectifs de travail.

Les différentes ressources que la formation va apporter pour favoriser l'acquisition des compétences cibles peuvent ainsi être réparties sur **plusieurs modules**, planifiés longtemps à l'avance. Chacun de ces modules sera construit en vue de l'acquisition de certaines compétences, là aussi avec la question « *de quoi les opérateurs doivent-ils être capables à l'issue de ce module ?* »

6.3 Faire pour apprendre

Les compétences ne sont pas « dans la tête », elles sont « dans le corps ». C'est l'ensemble du corps qui doit apprendre à faire face aux situations futures d'exploitation. Il est impossible de construire des compétences d'intervention uniquement à partir de documents projetés et commentés par le formateur. Pour apprendre, il faut faire. Mais il n'est souvent pas possible de « faire » des opérations réelles sur le système réel, soit parce que celui-ci n'est pas prêt, soit parce que certaines situations sont rares et à risques, et qu'il n'est pas question de les provoquer grandeur nature pour les besoins de la formation (un feu de colonne à distiller par exemple).

L'équipe de formateurs va donc s'employer à inventer des situations pédagogiques réduites, qui permettent de construire peu à peu les compétences requises, en agissant sur des objets moins complexes que le système complet. On peut par exemple citer :

- des chantiers écoles, reconstituant une partie de l'installation pour l'apprentissage d'opérations difficiles ou critiques ;
- des simulations sur maquette à échelle réduite (voir chapitre 5). Dans certains cas, la réalisation de la maquette peut aussi être une composante de la formation ;
- des simulations sur maquette informatique ;
- l'exploration active des plans internes d'un organe, et la fabrication d'une maquette simple à partir de ces plans ;
- des tâches de montage/démontage à l'établi ;

- des simulations grandeur nature sur les installations en cours de montage (unité arrêtée);
- ...

Cette nécessité de *faire pour apprendre* ne concerne pas que l'acquisition des compétences physiques d'intervention sur les installations. Elle est tout aussi vraie pour la construction de connaissances théoriques, par exemple physico-chimiques. Imaginons par exemple qu'il s'agisse d'enseigner que « *l'eau bout à 100°C à la pression atmosphérique normale, à une température plus faible si la pression est inférieure, et plus élevée si la pression est supérieure à cette valeur.* » Le fait qu'un participant à la formation sache énoncer ou écrire cette phrase par cœur ne prouve en rien que cette connaissance sera mobilisée dans une situation réelle de travail où elle serait utile. Les connaissances sont surtout mobilisées quand les circonstances présentes ressemblent à leurs circonstances d'acquisition. Si l'on veut que cette connaissance « démarre » dans une situation de travail, il faut créer en formation des circonstances d'acquisition de la connaissance qui ressemblent aux circonstances où la connaissance devra être utile. Par exemple, l'utilisation d'une cocotte-minute transparente dont on retire la soupape peut permettre de prévoir l'ébullition d'un réservoir dont la pression baisse subitement.

6.4 Sélection et habilitation

Des opérateurs anciens et dont la formation scolaire est lointaine peuvent envisager avec inquiétude la nécessité de suivre une formation longue et de repasser de nouvelles habilitations. Si une sélection est prévue à la fin de la formation, il est classique de constater chez certains une perte progressive des moyens au fur et à mesure que l'échéance (« *la guillotine* ») approche.

Pour éviter cet effet, il est souhaitable que la sélection ait lieu avant la formation, et que le contrat pédagogique soit que tout sera fait pour que chacun obtienne son habilitation. Cela suppose que les formateurs puissent si nécessaire renforcer l'accompagnement d'opérateurs chez lesquels ils détectent des difficultés. Il faut aussi que la première épreuve d'habilitation ait lieu suffisamment avant le démarrage pour qu'un complément de formation permette à certains de repasser l'épreuve dans de bonnes conditions.

Troisième partie

Le chantier et le démarrage

La préparation et le déroulement du chantier

En bref

Le déroulement des activités pendant le chantier doit être le plus anticipé possible au cours des études. L'implication forte d'un spécialiste facteurs humains ou d'un coordonnateur sécurité et protection de la santé doit permettre d'influencer à temps le phasage et l'organisation prévus. La nomination précoce du coordinateur de chantier, et les moyens qui lui sont donnés, sont des enjeux importants pour la sécurité.

Le déroulement du chantier comporte un triple enjeu de sécurité :

- la prévention des accidents lors de la construction des installations;
- la réalisation par les entreprises d'installations conformes aux prescriptions de conception;
- l'appropriation des nouvelles installations par les futurs exploitants avant le démarrage.

Le déroulement du chantier doit être le plus anticipé possible au cours des études.

7.1 Conception et organisation du chantier

7.1.1 La sécurité et les conditions de travail sur le chantier

L'expérience montre que la sécurité et les conditions de travail sur le chantier dépendent dans une large mesure des **moyens donnés au coordinateur de chantier** pour préparer celui-ci¹. Les phases de chantier qui sont soigneusement étudiées à l'avance sont plus sûres que celles où les modes opératoires s'inventent en temps réel et avec les moyens du bord. La pire situation est celle où la transmission des plans entre la maîtrise d'œuvre et l'entreprise réalisatrice se fait tardivement, et où la préparation de chantier est minime pour ne pas retarder le démarrage de celui-ci. La préparation de chantier inclut l'étude de sécurité incendie et de premiers secours.

Dans le cas où la maîtrise d'œuvre dispose d'un mandat de conception-réalisation, il est souhaitable que le coordinateur de chantier soit désigné tôt pendant les études, et qu'au fur et à mesure de la définition des solutions techniques, il puisse étudier (avec les spécialistes compétents) les conditions de leur montage, et éventuellement suggérer des modifications pour faciliter celui-ci. Les techniques de simulation qui ont été décrites au chapitre 5 sont parfaitement applicables pour simuler les différentes opérations critiques d'acheminement des organes et leur montage. Il est malheureusement rare qu'un spécialiste ergonomie-facteurs humains soit affecté à la préparation du chantier, au même titre qu'il y en a un pour animer la réflexion sur l'activité future d'exploitation. La même personne peut difficilement tenir les deux fonctions.

Quand la maîtrise d'œuvre n'a que le mandat de conception, la même fonction d'anticipation des contraintes de montage doit être confiée précocement à un coordonnateur sécurité protection de la santé (SPS) expérimenté dans le type d'industrie concerné, sans attendre que l'entreprise de réalisation soit choisie.

¹Voir les recherches de F. Six sur les conducteurs de travaux [Six 1999].

7.1.2 La préparation et la communication du phasage

La préparation et le déroulement du chantier entraîneront des effets pour le reste du site² : des zones seront condamnées, des routes fermées ; un grand nombre de poids lourds emprunteront des itinéraires habituellement calmes ; certains réseaux seront provisoirement coupés ; un afflux inhabituel de personnel est à attendre...

Il est difficile pour le chef de projet et le coordinateur de chantier d'imaginer seuls toutes les conséquences de ces perturbations pour tous les services du site (circulation de la navette interne, tournée de prélèvement du laboratoire, accès des pompiers et des premiers secours à toutes les zones, itinéraires d'accès à la cantine, conséquences en cas d'évacuation générale, usage des parkings extérieurs...). Il est donc très utile que les informations correspondantes soient rassemblées le plus tôt possible et mises en circulation, de façon que les différentes catégories d'usagers du site puissent émettre leurs contraintes spécifiques. Un bon moyen de communication est la réalisation d'un **tableau de phasage** : celui-ci se présente comme une bande dessinée, qui fait apparaître semaine par semaine (ou tout autre découpage pertinent) le plan du site avec les zones condamnées, les routes fermées ou déviées, etc. Chaque service peut alors vérifier pour toutes les phases les conditions de déroulement de sa propre activité, et émettre ses remarques. Après prise en compte de celles-ci, un tableau de phasage définitif est ensuite communiqué.

Le même type de tableau, mais cette fois en trois dimensions, peut être utilisé pour communiquer sur l'évolution du chantier lui-même, la construction des structures et le montage progressif des différents organes.

7.1.3 L'accueil des entreprises de construction et de montage

Un grand nombre de salariés d'entreprises extérieures interviendront sur le chantier. Il est constant que la qualité de la prestation d'accueil fournie par l'entreprise donneur d'ordres conditionne la qualité de la prestation fournie par les sous-traitants.

Nous renvoyons au Cahier « *Des questions à se poser* », sections 6.4 et 6.5 pour un ensemble de questions utiles pour préparer cet accueil et l'organisation du chantier [Daniellou 2012].

Les cahiers des charges et les revues pré-chantier

Les exigences relatives à la sécurité, notamment à la coactivité, doivent être explicitées dès les cahiers des charges et faire partie des critères de choix des entreprises. Plusieurs revues de sécurité avec l'ensemble des entreprises concernées sont nécessaires avant le démarrage du chantier. Un système de notification des incidents sera mis en place.

Des précautions particulières doivent être prises lorsque les opérateurs assurant la construction ne parlent pas la même langue que les équipes de conduite, pour garantir à tout moment la possibilité d'une interaction.

7.1.4 La coordination de chantier

L'une des difficultés connue sur les chantiers de construction est que chaque intervenant n'a connaissance que de sa tâche du jour : il n'a que peu de représentation de ce qui se passe ailleurs en même temps et de ce qui se passera le lendemain au même endroit. Cet horizon limité conduit souvent à des actions indésirables (démontage d'un échafaudage qui sera nécessaire le lendemain), et à des interférences dangereuses (coactivité).

L'amélioration de la sécurité et de la qualité du chantier passe donc par **une information mieux partagée** sur les tâches **en cours et à venir** dans une zone géographique donnée. Si le tableau de phasage est fait de façon suffisamment détaillée et actualisée, il peut servir de support à ce partage d'information au cours des réunions quotidiennes de coordination de chantier. Celles-ci doivent au moins rassembler autour du coordinateur de chantier les chefs d'équipe des différents corps de métier, ainsi que bien entendu le coordonnateur SPS et les chargés de prévention.

Outre cette fonction de coordination, les réunions de chantier servent aussi à arbitrer la réponse à apporter à des difficultés rencontrées en cours de réalisation. « *On a du mal*

²Voir [Beaujouan et al. 2011].

à passer une pompe à l'endroit prévu, peut-on la mettre à un mètre de là ? ». La réponse pertinente à ce type de questions suppose la présence de membres de l'équipe projet et des compétences d'exploitant. La présence à tour de rôle des futurs chefs de quart et contremaîtres de maintenance à la réunion de chantier est un moyen important de construction de leur connaissance détaillée de la nouvelle installation.

7.1.5 Les visites de chantier

Les visites de chantier par les futurs exploitants ont à la fois une fonction de formation et de détection de difficultés probables. Elles doivent être organisées régulièrement pour les futurs opérateurs, et être suivies d'un débriefing.

7.1.6 Les épreuves et essais

Bien que la maîtrise d'œuvre ait en général un mandat de *commissioning* (mise en service), il est essentiel que les futurs exploitants puissent participer aux épreuves et essais des nouveaux matériels. Cela peut supposer une définition contractuelle des limites de responsabilité.

7.2 Les revues pré-démarrage

Il est assez habituel qu'une revue pré-démarrage réunisse le chef de projet, le coordinateur de chantier, un responsable HSE, les pompiers, les responsables de production et de maintenance, *etc.* L'ensemble des opérations nécessaires au démarrage est déroulé, et la diversité des compétences présentes permet de vérifier que tous les pré-requis sont réunis ou vont l'être. Des méthodes de type *What-if-safety reviews* permettent d'envisager divers aléas, et d'anticiper la conduite à tenir.

Il est très utile que le même type d'exercice ait lieu au sein des équipes de conduite et avec les chargés de maintenance (par exemple une semaine avant le démarrage), de façon que tous les acteurs aient une vision d'ensemble du déroulement prévu, et que chacun identifie son rôle dans le processus global.

Ces revues veilleront notamment à ce qu'une documentation à jour soit disponible pour le démarrage.

Une équipe de démarrage spécifique est mise en place, avec un renforcement des fonctions conduite, maintenance, instrumentation, *etc.*

7.3 Les risques de l'inauguration

L'inauguration de la nouvelle installation donne souvent lieu à des festivités et des discours.

Lorsque la nouvelle unité remplace une autre qui était obsolète, il n'est pas rare que les discours officiels accentuent les aspects négatifs de l'unité antérieure, pour valoriser les qualités de la nouvelle. Ce type de communication est très difficilement vécu par les opérateurs qui, depuis des années, faisaient fonctionner à grand-peine un matériel vieillissant. Il n'est pas nécessaire de faire table rase de ce passé. Il est souhaitable au contraire que la direction du site valorise le travail réalisé sur les anciennes installations et l'investissement de cette expérience d'exploitation dans la réflexion sur le nouveau projet.

Le démarrage, l'évaluation du projet et le passage à l'exploitation ordinaire

En bref

La démarche FHO doit se poursuivre au cours du démarrage, pour contribuer aux dernières mises au point et participer au retour d'expérience sur le projet.

À la différence des essais, qui visent à tester des parties d'installation sans que l'on cherche à produire, le démarrage commence le jour où une production est recherchée, et s'étend jusqu'au fonctionnement nominal, c'est-à-dire conforme au programme initial.

8.1 La présence lors du démarrage

Si une démarche facteurs humains a été mise en place pendant le projet, il est important qu'elle se poursuive pendant la période du démarrage.

8.1.1 Dépasser les évaluations négatives

Quel que soit le soin apporté par tous au cours du projet, il subsiste toujours au moment du démarrage des points non satisfaisants, qui n'ont pas été anticipés. Ils se remarquent d'autant plus que la qualité de conception d'ensemble est plus élevée !

Il est donc fréquent que la première évaluation spontanée du démarrage par des membres des équipes d'exploitation soit négative : « *ce n'était pas la peine de faire tout ça pour que...* ». Ce sentiment disparaîtra vite si un recensement des difficultés rencontrées est effectué rapidement, et que les équipes sont immédiatement informées des suites données :

- certaines difficultés peuvent être réglées en quelques jours, grâce à la présence de la maîtrise d'œuvre et des entreprises fournisseurs ou par la maintenance ;
- d'autres nécessitent une petite reprise d'études, et seront traitées en quelques semaines ;
- d'autres modifications enfin ne sont peut-être pas possibles à court terme, mais la difficulté rencontrée peut être traitée par une modification de l'organisation ou des procédures, *etc.*

Cette forme de présence des responsables du projet et de l'exploitation, cette attention aux détails du démarrage, au traitement des problèmes, et à l'information des équipes permettent de poursuivre la « dynamique facteurs humains » instaurée au cours du projet.

8.1.2 Les erreurs de jeunesse

Il est fréquent que des « erreurs » commises par les opérateurs au cours du démarrage soient mises sur le compte de l'apprentissage, considérées comme des « erreurs de jeunesse ». Or la

psychologie cognitive montre que les erreurs commises lors de l'apprentissage sont aussi celles qui se produiront dans un moment de débordement ou de grande tension.

Les erreurs commises au cours du démarrage, comme toutes les erreurs, sont souvent liées à des caractéristiques de la situation qui les rendent plus probables¹ : ambiguïté de la présentation de l'information, difficulté de communication, injonctions contradictoires, *etc.* Elles doivent être analysées, leurs déterminants mis en évidence et corrigés, pour diminuer la probabilité qu'elles se renouvellent plus tard au moment d'un incident.

8.2 Finir le démarrage

Bien souvent, la montée en puissance de la nouvelle installation et le passage à l'exploitation ordinaire se font progressivement, sans qu'à aucun moment la fin du démarrage soit actée.

Or le démarrage est une phase particulière, avec une forte présence de l'équipe de projet, de la maîtrise d'œuvre et des fournisseurs, et un partage des responsabilités avec les exploitants. La fin de cette période et la remise complète de l'autorité aux responsables d'exploitation doivent être marquées nettement.

Dans le meilleur des cas, le démarrage se termine lorsqu'on atteint le nominal (un fonctionnement conforme en quantité et en qualité aux spécifications initiales).

Dans certains projets, le nominal n'est pas atteint rapidement. Il n'est pas pour autant possible de rester indéfiniment « en démarrage ». Une communication claire sur la situation et la répartition des rôles doit être mise en place par la direction du site.

8.3 Évaluer le projet

Le projet est fini, l'installation tourne. Les contraintes de la vie industrielle vont rapidement prendre le dessus.

Il est cependant important de prendre le temps de **réaliser formellement une évaluation du projet (REX projet)**, pour capitaliser certaines leçons et enrichir les projets ultérieurs. Une bonne évaluation est toujours faite à plusieurs voix (direction du site, chef de projet, encadrement et équipes d'exploitation, instances représentatives du personnel...). Il s'agit d'une « évaluation à large bande » et non d'une évaluation « à bande étroite » faite uniquement par quelques experts.

Pour partie, l'évaluation porte sur l'atteinte des objectifs visés. Certains objectifs sont quantifiables, et peuvent être vérifiés numériquement. D'autres sont « critériables » (obtenir une certification) et leur atteinte est facilement vérifiable. Mais il s'est aussi produit pendant le projet de nombreux phénomènes plus difficilement objectivables (modification des relations entre services, modification des relations sociales, apparition de nouveaux collectifs, implication de nouveaux acteurs...), qui peuvent être évalués positivement (et donc favorisés dans un prochain projet) ou négativement (et donc qu'il faudra chercher à éviter). Les différents acteurs peuvent avoir des opinions différentes sur le caractère positif ou négatif de certains événements (par exemple : la formation a été plus longue que prévu). Il est important de procéder à ce recueil large d'informations.

Pour ce qui concerne la démarche facteurs humains et organisationnels, l'évaluation portera notamment sur :

- la maîtrise du démarrage (durée, difficultés...);
- la qualité finale des conditions de travail et les difficultés qui persistent;
- la perception du projet par l'encadrement et les équipes d'exploitation;
- l'évolution des relations entre encadrement et équipes;
- la perception du projet par les IRP, l'évolution des relations sociales;
- l'organisation et le contenu des formations;

¹Voir le Cahier « État de l'art », chapitre 7 [Daniellou et al. 2010].

- l'organisation, la portée, les résultats des simulations et leur prise en compte dans la conception² ;
- la structuration du projet, l'articulation MO/MCE ;
- le positionnement et les ressources assignées à la démarche FHO.
- ...

8.4 Poursuivre la dynamique FHO

Ce document décrit la mise en place d'une démarche participative au cours du processus de conception. L'intelligence des opérateurs d'exploitation et leur expérience ont été reconnues et mobilisées pour assurer le succès du projet.

Si, après cette période, l'encadrement d'exploitation met en place un style purement directif, il est probable que l'on observera une déception et une démobilisation des équipes. Il est au contraire possible de poursuivre la dynamique engagée, notamment autour des enjeux de sécurité industrielle. Le Cahier « *Des questions pour progresser* » [Daniellou 2012] recense de nombreuses thématiques permettant de combiner l'engagement de l'encadrement et celui des opérateurs, notamment autour des enjeux de sécurité industrielle. On peut par exemple citer les formes de présence du management sur le terrain ; l'attention portée non seulement à la réalisation de la performance mais aussi au coût humain pour l'atteindre ; l'amélioration continue du REX sur les incidents ou accidents ; la mise en place et le traitement des alertes relatives à la sécurité ; la modification participative des procédures (notamment pour les tâches critiques) ; les formes d'animation des réunions de sécurité ; la réflexion collective sur les modifications ultérieures ; la réflexion, en lien avec les équipes DRH, sur l'évolution des métiers...

Si l'encadrement de l'unité a la volonté et les moyens de maintenir cette dynamique, elle peut contribuer conjointement à l'amélioration continue de la résilience du système, et au développement des personnes.

²Il importe de distinguer des difficultés qui n'avaient pas été anticipées par les simulations, et des difficultés qui avaient été annoncées mais n'ont pas été prises en compte dans la conception technique et organisationnelle.

Annexe 1

Un exemple : l'architecture de la salle de contrôle

Concevoir pour toutes les situations d'usage

La conception de la salle de contrôle répond à de nombreuses contraintes (par exemple, la protection contre une explosion éventuelle). En ce qui concerne les facteurs humains et organisationnels, elle doit être conçue de manière à favoriser l'ensemble des activités qui s'y déroulent. Les situations et contraintes suivantes doivent être particulièrement prises en compte dans le programme remis à l'architecte¹.

L'activité des opérateurs extérieurs

- nombreuses entrées / sorties (analyse des flux);
- dans les unités comportant des risques particuliers, une douche de sécurité peut être nécessaire devant l'entrée;
- stockage personnalisé des manteaux, casques, gants à proximité immédiate de la porte sur l'extérieur;
- stockage des ARI et autres matériels de sécurité, pharmacie;
- stockage et recharge des radios et petits matériels (lampes, oxymètres, détecteurs $H_2S...$);
- accès aisé aux toilettes avec des chaussures sales, sans avoir à traverser des « zones propres ».

L'activité des équipes de maintenance et entreprises prestataires

- effectif important susceptible d'attendre les permis de travaux, notamment lors des arrêts. La zone d'attente doit permettre de s'asseoir et comporter un distributeur de boissons et l'accès à des toilettes. Si les téléphones portables sont interdits, un téléphone public sera mis à disposition;

¹Différentes contraintes de conception des salles de contrôle sont décrites dans les normes :

- NF EN ISO 11064-1 (FA049452) Conception ergonomique des centres de commande, Partie 1 : Principes pour la conception des centres de commande;
- NF EN ISO 11064-2 (FA049678) Conception ergonomique des centres de commande, Partie 2 : Principes pour l'aménagement de la salle de commande et de ses annexes;
- NF EN ISO 11064-3 (FA045295), Conception ergonomique des centres de commande, Partie 3 : Agencement de la salle de commande;
- NF EN ISO 11064-4 (FA102538), Conception ergonomique des centres de commande, Partie 4 : Agencement et dimensionnement du poste de travail;
- NF EN ISO 11064-5 (FA102539), Conception ergonomique des centres de commande, Partie 5 : Dispositifs d'affichage et commandes;
- NF EN ISO 11064-6 (FA102540), Conception ergonomique des centres de commande, Partie 6 : Exigences relatives à l'environnement pour les centres de commande;
- NF EN ISO 11064-7 (FA102541), Conception ergonomique des centres de commande, Partie 7 : Principes pour l'évaluation des centres de commande.

- délivrance des permis de travaux ou permis de feu sans qu'il soit nécessaire de pénétrer en salle de contrôle (forme de « guichet » à définir);
- les affichages destinés aux prestataires doivent pouvoir être faits depuis le bureau et être visibles depuis l'extérieur.

L'activité du chef de quart et de la hiérarchie de jour

- le bureau du chef de quart (ou équivalent) est habituellement un lieu de passage (hiérarchie de jour, chargés d'affaires maintenance, chargés de consignation...). Il doit donc être facilement accessible sans que les « visiteurs » aient à traverser la salle de contrôle, mais également être attenant à celle-ci;
- le chef de quart doit souvent disposer de plusieurs types de matériels informatiques (administration, maintenance, procédé, parfois avec des imprimantes différentes). L'espace correspondant doit être prévu;
- il en est de même pour le stockage de la documentation et les nombreux panneaux d'affichage nécessaires;
- suivant l'organisation de l'entreprise, un bureau de consignation ou de délivrance des permis, distinct de celui du chef de quart, peut être nécessaire;
- si l'organisation de l'entreprise prévoit la mise en place d'une cellule de crise en cas d'incident grave, et si celle-ci est censée être au sein du bâtiment de la salle de contrôle, son articulation avec le bureau du chef de quart doit être anticipée.

Les activités en salle de contrôle

- lorsque des unités liées fonctionnellement sont commandées depuis la même salle, l'emplacement des pupitres doit permettre à la fois l'indépendance des activités liées aux unités distinctes et la coordination entre opérateurs lorsqu'une manœuvre commune est en cours;
- l'activité liée aux écrans du système numérique de contrôle commande (SNCC) n'est pas seulement celle de conduite, mais aussi celle de maintenance de l'informatique; les matériels à entretenir doivent être facilement accessibles (par exemple, changement d'un écran);
- le repli sur un autre poste doit être possible en cas de panne;
- la conception des pupitres de conduite doit, pour chaque poste de travail, permettre la présence de deux personnes assises au lieu d'une (relèves, périodes de formation, opérations critiques...). Le mobilier doit permettre l'usage des matériels informatiques et des boutons de commande, des moyens de communication avec les rondiers, les services de l'usine et l'extérieur (y compris ligne de feu), mais aussi celui de documents écrits (schémas, rapports, formulaires...);
- les arrêts d'urgence des installations, les klaxons et gyrophares doivent être présents au poste de travail ou à proximité immédiate;
- il est fréquemment nécessaire que des moniteurs liés à des caméras permettent de visualiser des organes extérieurs (cheminée, torche, four...) pour compenser l'absence de vision directe;
- si les vues de procédé doivent être consultées par d'autres personnes que les opérateurs pupitreurs (par exemple chargé d'affaires maintenance, chimiste...), un ou plusieurs écrans supplémentaires seront implantés dans une zone n'interférant pas avec l'activité de conduite (bien évidemment, seules certaines actions sont possibles à partir de ces écrans);
- la documentation est susceptible d'être volumineuse. L'affichage des plans, des consignes de production, des sécurités by-passées et l'archivage des schémas d'instrumentation et procédures sont à prévoir dans la conception de l'espace;
- les opérateurs extérieurs doivent disposer d'espace pour rédiger les rapports de tournée;
- la salle de contrôle est le lieu de rassemblement de l'équipe. Les cafés ou goûters collectifs ne sont pas seulement une tradition conviviale des travailleurs postés, ce sont d'importants moments de débriefing collectif, d'échanges d'information et de

synchronisation des représentations entre les opérateurs extérieurs et les pupitreurs. La salle de contrôle doit comporter une table susceptible d'accueillir toute l'équipe, et de laquelle les écrans d'alarme restent visibles ;

- les opérateurs doivent pouvoir accéder à des postes informatiques bureautiques distincts du SNCC, par exemple pour la programmation de leurs congés ou l'accès à l'information d'entreprise ;
- si la politique de communication de l'entreprise est de montrer la salle de contrôle à des visiteurs, la conception doit permettre que ces visites ne perturbent pas l'activité ;
- lorsque la salle de contrôle est aveugle pour des raisons de sécurité, l'éclairage doit être particulièrement étudié, compte tenu du travail en 3x8. Un recours à un éclairagiste sera nécessaire pour obtenir un éclairage important, une faible luminance des sources (prévention de l'éblouissement), une température de couleur « lumière du jour » et un réglage dynamique de l'éclairage en fonction des heures ;
- le traitement acoustique (absorbant) des parois de la salle est important pour y maintenir une ambiance calme malgré les conversations, les appels radio... ;
- la climatisation doit être silencieuse, réglable, et les filtres accessibles. Elle doit pouvoir être arrêtée depuis la salle de contrôle en cas de fuite toxique à l'extérieur.
- la réalisation du ménage doit être favorisée par la conception des mobiliers.

Vestiaires et zone de vie

Les travailleurs postés passent les nuits et les week-ends au travail. La conception des lieux doit favoriser de bonnes conditions de vie et d'alimentation (la possibilité de prendre des repas chauds et équilibrés est particulièrement importante pour la santé des postés) :

- suffisamment d'espace pour les vestiaires, douches et sanitaires ;
- possibilité de nettoyage des bleus de travail (suivant l'organisation de l'entreprise) ;
- zone cuisine / repas permettant le stockage des aliments et de la vaisselle, la confection et la consommation de repas chauds, lave-vaisselle ;
- stockage et évacuation des déchets ;
- zone de repos calme, permettant une pause réparatrice au cours du poste de nuit.

Autres activités collectives

- les lieux de confinement de l'équipe en cas d'alerte gaz sont prévus ;
- une ou plusieurs salles de réunion doivent permettre les activités de formation, le travail collectif sur les procédures, les réunions de sécurité, les groupes de travail, *etc.*
- stockage des matériels pour les formations (par exemple de secourisme).

Local ménage

Compte tenu du grand nombre de personnes qui entrent et sortent dans le bâtiment, l'entretien des sols est un enjeu important. Le stockage du matériel de ménage et les points d'eau et d'évacuation doivent être prévus.

En réponse aux propositions de l'architecte

À partir du programme qui lui a été remis, l'architecte va soumettre un avant-projet sommaire (APS), qui ne comporte que l'emplacement des cloisons et des issues. Il est très utile de mettre en place, à partir de ce document, une simulation des principales situations qui vont se dérouler dans la salle de contrôle. Elle associera des représentants des différentes catégories professionnelles qui auront à y travailler. Cette simulation permettra de demander des modifications de proximité, de surface, *etc.*, à un stade peu avancé du dessin des plans.

Une nouvelle simulation pourra avoir lieu lorsque l'architecte aura réalisé l'avant-projet définitif (APD), avec tous les détails des huisseries, des installations électriques et de plomberie, *etc.*

Annexe 2

Un exemple : la conception des vues de conduite et des alarmes

L'adaptation des vues de conduite¹ aux besoins de l'exploitation ne dépend pas que de la qualité du dessin de chaque vue.

Il s'agit de piloter une installation industrielle, pas un ordinateur

L'expression « interface homme-machine » (IHM) peut être trompeuse. On s'intéresse souvent principalement à l'interface entre l'opérateur et l'ordinateur du système de contrôle - commande. Or la tâche de l'opérateur n'est pas de piloter le SNCC, mais le procédé industriel. Les moyens de conduite sont une interface entre lui et l'installation industrielle, et doivent être conçus pour favoriser l'action de conduite.

Par ailleurs, il faut veiller à décharger l'opérateur de conduite, autant que possible, des tâches secondaires de gestion du système informatique, pour lui permettre de concentrer son attention sur la conduite du procédé.

Favoriser une vision d'ensemble

À la différence des anciens tableaux, qui offraient une vision globale de l'installation, la conduite sur écrans peut conduire à une « vision en trou de serrure » [Guy et Meyer 1995 ; Lejon 1991] du procédé. Pour éviter ce phénomène, certaines précautions doivent être prises :

- **un nombre suffisant d'écrans** par opérateur pour qu'il puisse afficher séparément une ou des vues de supervision, une vue des alarmes actives, et la vue sur laquelle il est en train de travailler. Le nombre minimal d'écrans par personne est souvent de trois, mais si on veut favoriser une conduite à deux opérateurs dans certaines phases critiques, il faut au moins quatre écrans par poste (l'affectation des informations sur les écrans étant programmable). Dans certains cas, il faut prévoir en outre un ou plusieurs écrans pour le chef de quart, la maintenance...
- **une flexibilité de l'affichage** permettant à l'opérateur de se constituer des vues « sur mesure » avec les valeurs, historiques ou courbes de tendance correspondant aux besoins d'une opération particulière non prévue en conception.
- **une conception des vues de conduite** favorisant le rassemblement sur une même vue des principaux **paramètres nécessaires pour gérer une manœuvre ou un incident**. En effet, lorsque les informations nécessaires pour une manœuvre sont dispersées sur de nombreuses vues (figure B.1), on assiste à un enchaînement rapide de celles-ci, à une augmentation de la charge mentale de l'opérateur, et à une perte de la vision globale de la situation.

¹Vues d'écran du système numérique de contrôle commande (SNCC).

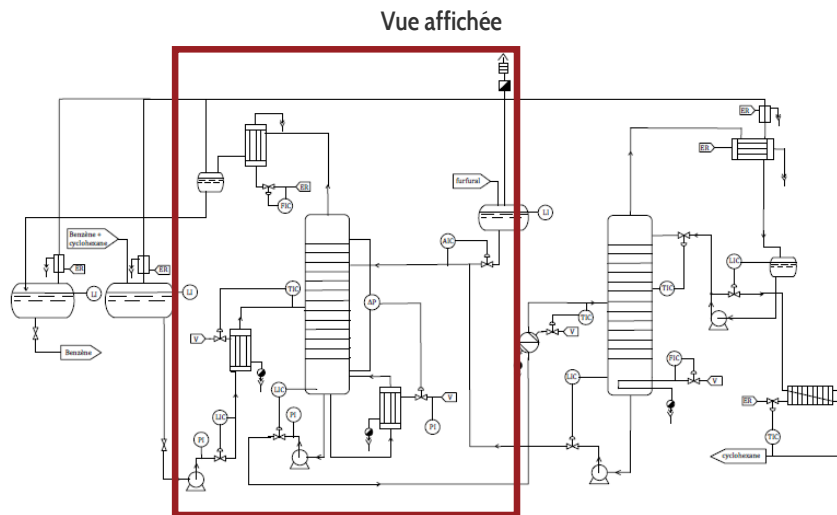


FIGURE B.1 – L’affichage par organe ne permet pas une vision d’ensemble

La conception des vues de conduite ne doit donc pas être envisagée organe par organe, mais situation par situation : démarrage, changement de produit, différents types d’incidents. L’ensemble **des informations nécessaires à une phase d’activité sera regroupé** sur une même vue, quitte bien entendu à ce que certaines informations soient dupliquées dans d’autres vues.

Les spécifications pour la conception des vues

Il est habituel que les vues d’écran soient programmées par le fournisseur de SNCC, sur la base des spécifications qui lui sont transmises. Ces dernières doivent comporter deux volets :

- d’une part, des principes de dessin, un standard fixant une sorte de « grammaire » de la présentation de l’information (charte graphique, règles d’agencement, bibliothèque d’objets graphiques) ;
- d’autre part, la liste des vues et le recensement des paramètres à afficher sur chacune.

Un standard de présentation

Les normes de présentation de l’information sur les vues de conduite qui vont être imposées au fournisseur sont basées d’une part sur des travaux scientifiques internationaux, d’autre part sur les habitudes de l’entreprise. Certains constructeurs de SNCC ont fait un travail important avec leurs clients et leurs propres ergonomes pour arriver à des standards satisfaisants². Ceux-ci devront éventuellement être adaptés pour tenir compte des habitudes antérieures de l’entreprise.

Quelques exemples de principes, utilisés dans certaines entreprises, sont présentés dans l’encadré ci-dessous.

²Par exemple, voir : [ASM 2009]. Voir aussi : [NUREG 2002].

- **La trame de fond permanente est discrète**

- ▷ Pas de couleur pour les informations permanentes (dessin des organes et des tuyauteries)
- ▷ Affichage des détails à la demande
- ▷ Les câblages de régulation sont affichés seulement s'ils sont indispensables ou sur demande
- ▷ La taille des appareils dépend de leur importance
- ▷ Les positions par gravité sont respectées
- ▷ Homogénéité des symboles et des codages (suivant les règles de l'entreprise)

- **« Feux éteints, tout va bien »**

- ▷ Les couleurs sont là pour attirer l'attention sur des informations non-permanentes
- ▷ Pas de changement de couleur vert/rouge sans changement de forme (daltoniens)
- ▷ Jaune et rouge uniquement pour les alarmes
- ▷ Animations uniquement pour des informations de sécurité nécessitant une action immédiate
- ▷ Les alarmes acquittées sont plus pâles

- **Affichage à la demande (passager ou maintenu) de tendances**

- ▷ Possibilité de modifier les paramètres des tendances
- ▷ Possibilité de créer des vues « sur mesure » regroupant les valeurs et tendances correspondant à une manœuvre

- **Possibilité d'afficher la condamnation ou la consignation d'un matériel**

- **Les modifications de seuils d'alarmes ou de réglage des « actions » PID sont archivées et consultables**

Le contenu des vues

Quelques vues de supervision présentent les principaux paramètres permettant d'identifier l'état du processus technique.

Les vues de détail sont conçues en fonction des **situations** qu'elles permettent de traiter. La première étape de leur conception est donc le recensement des principales situations de conduite (démarrage d'un appareil, réglages, déclenchement, changement de produit, mise en arrêt...). Si une démarche FHO a été mise en place, cette liste a déjà été largement établie (voir « recensement des situations d'exploitation », chapitre 5. Le fait de la faire préciser par les équipes de conduite est une importante contribution à leur formation.

Après avoir recensé les principales situations de conduite, de façon à pouvoir créer une vue pour chacune, on procède à l'inventaire des mesures et commandes qui doivent y figurer pour minimiser le changement de vues en cours de manœuvre.

Le dessin des vues est habituellement réalisé par le fournisseur, à partir des schémas de procédé et de la liste des vues et paramètres qui lui a été communiquée. Il est important qu'avant de procéder à leur programmation finale, il communique les maquettes du dessin des vues d'écran ainsi réalisées.

Il sera alors possible de procéder, sur ces maquettes, à une simulation du déroulement de quelques scénarios de manœuvre ou d'incident, pour vérifier la pertinence et la complétude du regroupement des paramètres, détecter d'éventuelles ambiguïtés, *etc.* Les maquettes devront être validées avant programmation définitive par le fournisseur.

Les alarmes

Les alarmes ont plusieurs fonctions³ :

- permettre la surveillance globale du procédé, et une prise d'information sur son état, notamment à la relève ;
- attirer l'attention sur un événement anormal ou nécessitant une action urgente ;
- informer à temps pour permettre une réaction humaine avant le déclenchement d'un automatisme ;
- informer sur la défaillance d'un automatisme de sécurité ;
- ...

Le déclenchement de certaines alarmes est une information nouvelle pour l'opérateur, tandis que certaines sont des résultats attendus d'une action qu'il a volontairement effectuée.

La réflexion sur la structure du système d'alarmes doit permettre :

- de limiter le nombre d'alarmes à ce qui est pertinent ;
- la visibilité de l'alarme, la clarté de son libellé, l'identification du niveau de priorité et l'état (acquitté ou non) ;
- de faire apparaître l'alarme à la fois dans un contexte structuré permettant son traitement (vue de conduite) et dans une liste chronologique⁴ permettant de remonter au-delà de ce qui est affiché ou actif ;
- de favoriser l'identification de « structures d'alarmes » (conjonction significative facilitant le diagnostic) et l'accès à des « fiches d'alarme » (recensant les causes possibles) ;
- le filtrage d'alarmes associées de façon normale à un état de l'installation ou à la consignation de certains matériels ;
- l'identification immédiate des alarmes inhibées ;
- d'éviter les alarmes répétées lors d'une oscillation d'un paramètre autour de la valeur limite, par un choix pertinent de la « bande morte » (hystérésis) entre seuil d'apparition et seuil de disparition ;
- que l'opérateur puisse identifier facilement le premier défaut lorsqu'un même incident se traduit par une rafale d'alarmes ;
- que l'opérateur puisse « ranger » une copie de l'alarme dans des « boîtes » (listes structurées par lui) ;
- de favoriser la distinction entre une valeur haute qui reste stable et une valeur haute qui continue à monter ;
- que l'opérateur puisse programmer des « alertes » ou pré-alarmes distinctes des alarmes qui diminuent sa charge mentale de surveillance en signalant qu'un objectif est atteint (par exemple niveau presque haut lors du remplissage d'un ballon).

L'information sur la survenue d'une alarme comporte habituellement un signal sonore et un signal lumineux⁵. Plusieurs signaux sonores distincts peuvent être choisis, soit en fonction de la partie d'unité concernée⁶, soit en fonction du niveau d'urgence.

Le système d'acquiescement doit permettre de séparer la suppression immédiate du signal sonore et la suppression du signal visuel lorsque l'opérateur a identifié le paramètre concerné. Ces acquiescements doivent pouvoir être faits sans déplacement de l'opérateur.

Le contrôle du bon fonctionnement des alarmes (test des voyants...) et l'intervention de la maintenance doivent être facilités.

³Voir : le document de référence OGP 454 cité plus haut [OGP 2011, p.66] ; [HSE 2000] ; Norme internationale de la Commission électrotechnique internationale [CEI 2004] ; [Daniellou 1986].

⁴Cette liste chronologique peut être utilisée pour les besoins de la conduite en temps réel, mais doit aussi être archivée pour les nécessités d'exploitation et d'analyse ultérieures.

⁵Le timbre du signal sonore doit être choisi pour être audible même par des personnes ayant des débuts de difficultés d'audition liées au vieillissement ou au travail (choisir des fréquences inférieures à 2000 Hz). Les signaux lumineux doivent être visibles quel que soit l'éclairage (reflets).

⁶Il est notamment indispensable de choisir des timbres différents quand les pupitres de contrôle de plusieurs unités sont rassemblés dans la même salle.

Liste des abréviations

AMO	Assistant à la maîtrise d'ouvrage
APD	Avant-projet définitif
APS	Avant-projet sommaire
ARI	Appareil respiratoire isolant
CdC	Cahier des charges
CE	Comité d'établissement (ou d'entreprise)
CHSCT	Comité d'hygiène, de sécurité et des conditions de travail
CPMO	Chef de projet pour la maîtrise d'ouvrage
DP	Délégué du personnel
DREAL	Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement
EPC	<i>Engineering, procurement</i> [passation de marché] <i>and construction contract</i> : marché de conception-réalisation
EPI	Équipement de protection individuelle
FEED	<i>Front-engineering and design</i> : étude d'ingénierie d'avant-projet
FHO	Facteurs humains et organisationnels
FHOS	Facteurs humains et organisationnels de la sécurité industrielle
HFE	<i>Human factor engineering</i> : démarche facteurs humains en conception
HSE	Hygiène, sécurité, environnement
IHM	Interface homme-machine
IRP	Institution représentative du personnel
MO	Maîtrise d'ouvrage
MŒ	Maitrise d'œuvre
PID	<i>Piping and instrumentation diagram</i> : schéma tuyauterie et instrumentation
REX	Retour d'expérience
RH	Ressources humaines
SMS	Système de management de la sécurité
SNCC	Système numérique de contrôle-commande

Bibliographie

- ASM (2009). Effective operator display design. ASM Consortium Guidelines, ASM Consortium. 78
- ASTM (2007). Norme E2350. Rapport technique, ASTM International, Organisme de normalisation par mutualisation volontaire. Disponible à <http://www.astm.org/Standards/E2350.htm>. 1
- Barcellini, F., VanBellegem, L., et Daniellou, F. (2013). Les projets de conception comme opportunité de développement des activités. Dans Falzon, P., Éd., *Ergonomie constructive*. PUF, Paris, France. 57
- Beaujouan, J., Escouteloup, J., et Daniellou, F. (2011). Phasage des travaux et organisations transitoires : quels rôles pour l'ergonome ? *Activités*, 8(1) :26-43. doi : 10.4000/activites.2503. 66
- Béguin, P. (2004). L'ergonome, acteur de la conception. Dans Falzon, P., Éd., *Ergonomie*, pages 375-390. PUF, Paris. 39
- CEI (2004). Centrales nucléaires de puissance – salle de commande principale – fonctions et présentation des alarmes. Norme internationale CEI 62241, Commission électrotechnique internationale. 80
- Daniellou, F. (1986). *L'opérateur, la vanne, l'écran. L'ergonomie des salles de contrôle*. Coll. Outils et méthodes. ANACT, Lyon. ISBN : 978-2903540340, 442 pages. 80
- Daniellou, F. (1987). Les modalités d'une ergonomie de conception, introduction dans la conduite des projets industriels. Note documentaire 1647-129-87, INRS, Paris, France. 5
- Daniellou, F. (2012). Les facteurs humains et organisationnels de la sécurité industrielle : des questions pour progresser. Cahier de la Sécurité Industrielle 2012-03, Fondation pour une culture de sécurité industrielle, Toulouse, France. Disponible à <https://www.foncsi.org/>. xi, 3, 57, 66, 71
- Daniellou, F., Simard, M., et Boissières, I. (2010). Les facteurs humains et organisationnels de la sécurité industrielle : un état de l'art. Cahier de la Sécurité Industrielle 2010-02, Fondation pour une culture de sécurité industrielle, Toulouse, France. Disponible à <https://www.foncsi.org/>. xi, 3, 6, 44, 57, 70
- FAA (2003). Human factors job aid. Rapport technique, US Federal Aviation Administration. Disponible à <http://www.hf.faa.gov/docs/jobaid.pdf>. 1
- Guy, M. et Meyer, E. (1995). Aider à concevoir pour la conduite opérateur. Dans *L'homme dans les nouvelles organisations*, pages 322-325. Actes du 30e congrès de la SELF. 77
- HSE (2000). Better alarm handling. Rapport technique, UK Health and Safety Executive Books. 80
- Jackson, M. (1998). *Entre situations de gestion et situations de délibération, l'action de l'ergonome dans les projets industriels*. Thèse de doctorat d'ergonomie, Université Victor Segalen Bordeaux 2. 26
- Laplace, J. et Regnaud, D. (1986). Démarche participative et investissement technique : la méthodologie de Rhône-Poulenc. *Cahiers de l'UIMM*, 52. 5
- Lejon, J.-C. (1991). *L'évolution de la conduite sur SNCC : l'ergonomie des systèmes numériques de contrôle-commande*. ANACT. 77
- Martin, C. (2000). *Maîtrise d'ouvrage, maîtrise d'œuvre : construire un vrai dialogue*. Octarès, Toulouse, France. 25
- Midler, C. (1993). Le responsable de projet, portrait d'un rôle d'influence. *Gestion2000*, 2/93. 12
- NUREG (2002). Human system interface design review guidelines. Rapport technique NUREG 0700 Rev 2, US Nuclear Regulatory Commission. Disponible à <https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/nuregs/staff/sr0700/>. 78
- NUREG (2012). Human factors engineering program review model. Rapport technique NUREG-0711 Rev3, US Nuclear Regulatory Commission. Disponible à <http://pbadupws.nrc.gov/docs/ML1232/ML12324A013.pdf>. 1
- OGP (2011). Human factors engineering in projects. Rapport technique, International Association of Oil and Gas Producers. OGP report number 454. Disponible à <http://www.ogp.org.uk/pubs/454.pdf>. 1, 5, 39, 80

- Riboud, A. (1987). *Modernisation mode d'emploi, rapport au Premier ministre*. Collection 10/18. Union générale d'édition, Paris, France. ISBN : 2-264-01100-9, 213 pages. 5
- du Roy, O. (1989). *Gérer la modernisation, clés pour un management sociotechnique du changement*. Éditions d'organisation. ISBN : 978-2708111295, 186 pages. 5
- Seet, A. et McLeod, R. (2012). Lessons learned applying human factors engineering in capital projects. Dans *International Conference on Health, Safety and Environment in Oil and Gas Exploration and Production*, Perth, Australia. 1, 32
- Six, F. (1999). De la prescription à la préparation du travail, apports de l'ergonomie à la préparation du travail sur les chantiers de BTP. Habilitation à diriger des recherches, Université Victor Segalen Bordeaux 2. 65
- VanBelleghem, L. (2012). Simulation organisationnelle : innovation ergonomique pour innovation sociale. Dans *Actes du 42e congrès de la SELF*, Lyon, France. 50

Reproduction de ce document



La Foncsi soutient le libre accès (“*open access*”) aux résultats de recherche. Pour cette raison, elle diffuse gratuitement les documents qu’elle produit sous une licence qui permet le partage et l’adaptation des contenus, à condition d’en respecter la paternité en citant l’auteur selon les standards habituels.

À l’exception du logo Foncsi et des autres logos et images y figurant, le contenu de ce document est diffusé selon les termes de la licence [Attribution du Creative Commons](#). Vous êtes autorisé à :

- **Partager** : copier, imprimer, distribuer et communiquer le contenu par tous moyens et sous tous formats ;
- **Adapter** : remixer, transformer et créer à partir de ce document du contenu pour toute utilisation, y compris commerciale.

à condition de respecter la condition d’**attribution** : vous devez attribuer la paternité de l’œuvre en citant l’auteur du document, intégrer un lien vers le document d’origine sur le site foncsi.org et vers la licence et indiquer si des modifications ont été apportées au contenu. Vous ne devez pas suggérer que l’auteur vous soutient ou soutient la façon dont vous avez utilisé le contenu.



Vous pouvez télécharger ce document, ainsi que d’autres dans la collection des *Cahiers de la Sécurité Industrielle*, depuis le site web de la Foncsi.



Fondation pour une Culture de Sécurité Industrielle

Fondation de recherche reconnue d’utilité publique

www.FonCSI.org

6 allée Émile Monso — BP 34038
31029 Toulouse cedex 4
France

Twitter : @LaFonCSI

Courriel : contact@FonCSI.org

ISSN 2100-3874



6 allée Émile Monso
ZAC du Palays - BP 34038
31029 Toulouse cedex 4

www.foncsi.org