



Apports d'une perspective sociotechnique dans la conception de systèmes à risques

Contributions of a sociotechnical perspective in the design of risk systems

VAUTIER Jean-François
CEA
Fontenay-aux-Roses
jean-francois.vautier@cea.fr

COYE DE BRUNELIS
Thierry
THALES
Sophia-Antipolis
thierry.coyedebrunelis@thalesgroup.com

PERINET Romuald
GRTgaz
Saint Denis
romuald.perinet@grtgaz.fr

MAZRI Chabane
INERIS
Verneuil-en-Halatte
chabane.mazri@ineris.fr

1 *Résumé* — La communication se propose d'étudier les apports d'une perspective sociotechnique dans la conception de
2 systèmes à risques. Il s'agit d'examiner plus particulièrement en quoi certaines caractéristiques des processus de conception des
3 systèmes sociotechniques (SST) peuvent permettre à ces derniers de fonctionner plus efficacement lors de leur exploitation et
4 d'améliorer leur sécurité en évitant de faire apparaître des événements critiques comme la destruction ou l'endommagement d'un
5 élément de leur sous-système technique (engins spatiaux, canalisations...). Cette communication se fera en trois temps.
6 Premièrement, deux types de systèmes sociotechniques (SST), poursuivant des objectifs similaires, seront décrits ainsi que leur
7 processus de conception. Chacun des deux SST vise à assurer une trajectoire adéquate à l'un des éléments du sous-système
8 technique qui compose ce SST. Dans un deuxième temps, trois principes des processus de conception des deux précédents SST
9 seront décrits. Enfin, dans un troisième temps, des conditions organisationnelles propices à la mise en place de ces trois principes
10 de conception seront présentées.

11 *Mots-clefs* — *système sociotechnique, sécurité, facteurs organisationnels et humains (FOH)*

12 *Abstract* — The aim of this paper is to study the contributions of a socio-technical perspective in the design of risk systems. In particular,
13 it will examine how certain features of sociotechnical system (STS) design processes can enable these systems to operate more efficiently
14 and improve their safety by avoiding the occurrence of critical events such as the destruction or damage of an element of their technical
15 subsystem (spacecraft, pipelines...). This presentation will be divided into three parts. Firstly, two types of sociotechnical system (STS), with
16 similar objectives, will be described, along with their design process. Each SST aims to ensure an appropriate trajectory for an element of the
17 technical subsystem. Secondly, three principles of the design processes of the two previous STS will be described. Finally, the organizational
18 conditions conducive to the implementation of the three design principles will be presented.

19 *Keywords* — *sociotechnical system, safety, human and organisational factors*

20 21 I. INTRODUCTION

22 La communication se propose d'étudier l'apport d'une vision sociotechnique des systèmes pour améliorer les performances
23 de sécurité des systèmes à risques. Il s'agit d'examiner plus particulièrement en quoi certaines caractéristiques des processus de
24 conception des systèmes sociotechniques (SST) peuvent permettre à ces derniers de fonctionner plus efficacement lors de leur
25 exploitation et d'améliorer leur sécurité en évitant de faire apparaître des événements critiques comme la destruction ou
26 l'endommagement d'un élément de leur sous-système technique (engins spatiaux, canalisations...).

27 La notion de système sociotechnique fut introduite par Eric TRIST et Ken BAMFORTH en 1951. Ils définirent un système
28 sociotechnique comme un système composé d'un sous-système social et d'un sous-système technique en interaction. Il s'agit par

29 exemple d'une entreprise, d'un atelier, d'une situation de travail... Dans le cadre de ce dernier type de SST, le sous-système
30 social peut renfermer un ou plusieurs êtres humains dont l'activité est régie par une organisation du travail. Le sous-système
31 technique peut alors être un ensemble d'outils, d'équipements ou encore un véhicule piloté par un être humain... et ce à l'intérieur
32 d'un environnement de travail (c'est-à-dire un local ou encore une route, l'atmosphère pour un véhicule volant... ainsi que les
33 ambiances physiques comme le bruit, la température...).

34 De fait, une vision sociotechnique des systèmes appréhende toujours ces derniers comme un ensemble composé d'un sous-
35 système social et d'un sous-système technique. La frontière du système considéré dans cette approche ne sera donc jamais
36 circonscrite à un système uniquement technique. Ne serait-ce qu'en exploitation, les systèmes techniques que nous étudierons
37 seront toujours en interaction avec un ou plusieurs êtres humains. Ces derniers les utilisent, les pilotent, les maintiennent en
38 conditions opérationnelles, les mettent à jour, les réparent, les nettoient... Dans ce cadre, s'interroger sur la frontière du système
39 considéré (c'est-à-dire se demander en pratique où mettre la frontière du système) représente, pour nous, une étape cruciale et
40 préalable à toute analyse. Ceci est d'ailleurs cohérent avec le deuxième thème d'analyse d'une approche systémique proposé en
41 2022 par l'OCDE/AEN (OECD/NEA) : "System boundaries and external context" / Frontières du système et contexte externe.
42 Cela conduit aussi à devoir repenser la frontière ou la limite du système étudié si le système, considéré dans un premier temps,
43 est envisagé comme n'étant que technique.

44 La sécurité est définie par Villemeur (1988) comme étant l'« aptitude d'une entité à éviter de faire apparaître, dans des
45 conditions données, des événements critiques ou catastrophiques ». Il s'agit donc, dans notre cadre, de la capacité d'un SST à
46 éviter de faire apparaître des événements dommageables, voire catastrophiques, à ses sous-systèmes, en particulier, son sous-
47 système technique.

48 Cette communication se fera en trois temps.

49 Premièrement, deux types de SST seront décrits ainsi que deux processus de conception. Et pour ne pas surcharger
50 d'exemples cette communication, nous proposons de nous concentrer uniquement sur deux SST ainsi que sur deux processus de
51 conception. Les deux SST, examinés ici, présentent à la fois des différences et des ressemblances afin que l'on puisse dégager
52 de cet examen quelques enseignements. Le premier exemple porte sur un SST dont l'un des éléments du sous-système technique
53 a subi un accident majeur qui a entraîné sa destruction. Cet élément est un engin spatial. Le processus industriel de conception du
54 SST correspondant est de grande ampleur. Le second exemple porte sur un SST dont les éléments techniques examinés seront le
55 godet d'une pelleuse et les canalisations. Il s'agit donc d'un processus industriel de conception plus modeste mais qui concerne
56 un SST qu'on peut rencontrer dans la vie de tous les jours. Plus précisément, le processus de conception examiné pour le premier
57 exemple est celui qui a précédé l'accident survenu. Le second processus de conception étudié est celui qui fait suite à la survenue
58 d'incidents. Il a permis d'améliorer la sécurité du SST existant aujourd'hui. Les deux SST étudiés présentent des ressemblances.
59 En effet, chaque SST considéré ici vise à assurer une trajectoire adéquate à l'un des éléments de leur sous-système technique.

60 Plus précisément, les deux exemples concernent respectivement :

- 61 - le Mars Climate Orbiter (MCO) de la NASA dont l'accident en 1999 a conduit à sa destruction. Un rapport d'enquête
62 sorti fin 1999 a montré un fonctionnement inadéquat du SST en question (équipe de contrôle de la trajectoire de l'orbiter
63 de la NASA, équipe technique du concepteur et exploitant de l'orbiter, l'orbiter lui-même...) : des ordres inappropriés
64 ont en effet été envoyés par la salle de contrôle de la NASA à l'orbiter et des données inappropriées ont été envoyées
65 par le concepteur et exploitant de l'orbiter à la salle de contrôle de la NASA. L'origine de ce fonctionnement inadéquat
66 remonte en fait à des déficiences survenues dans le processus de conception du SST ;
- 67 - le godet d'une pelleuse. Le SST considéré ici vise à assurer une trajectoire adéquate au godet d'une pelleuse afin
68 d'éviter que des canalisations ne soient endommagées par ce godet.

69 Dans le deuxième temps de cette communication, trois caractéristiques des processus de conception des deux précédents SST
70 seront décrits. Ayant choisi dans le cadre de cette communication d'une part un processus de conception d'un SST dont le
71 fonctionnement a conduit à un accident de l'élément « orbiter » du sous-système technique et d'autre part un processus de
72 conception d'un SST dont le fonctionnement permet d'améliorer la sécurité du SST considéré en évitant d'endommager l'élément
73 « canalisation » du sous-système technique, nous indiquerons des caractéristiques des deux processus de conception qui sont
74 favorables, en creux ou directement, à la sécurité des deux SST considérés. Nous avons étudié pour ce faire, d'une part des
75 recommandations apparaissant dans un rapport d'enquête réalisé suite à l'accident de l'orbiter, et d'autre part des caractéristiques
76 du processus de conception du second SST qui ont permis d'améliorer la sécurité de ce dernier en lui permettant d'éviter
77 d'endommager l'élément technique « canalisation ». Concernant ce second SST, nous nous focaliserons donc sur deux éléments
78 techniques du SST : le godet et la canalisation alors que concernant le premier SST, nous nous focaliserons uniquement sur un
79 seul élément technique : l'orbiter. Enfin, nous qualifierons ces caractéristiques de principes car elles proposent un développement
80 de trois grands principes présentés dans une norme internationale sur la conception de SST et de systèmes techniques. Il nous a
81 paru préférable de chercher à enrichir les trois principes de la norme précédente afin d'en faciliter sa mise en application, plus
82 spécifiquement pour la conception de SST, plutôt que de chercher à proposer de nouveaux principes dont l'applicabilité serait
83 incertaine.

84 Enfin, dans un troisième temps, des conditions organisationnelles propices à la mise en place des trois principes de conception
85 précédents seront présentées.

86 De fait, cette vision sociotechnique nous semble pouvoir être utile à l'ensemble des métiers du risque puisque ces derniers
87 sont toujours exercés in fine par des systèmes sociotechniques. Par ailleurs, la démarche présentée, reliant le fonctionnement
88 d'un système sociotechnique à des principes de conception particuliers, dont la mise en œuvre dépend de l'existence de certaines

89 conditions organisationnelles, nous semble être une manière très opérationnelle, d'une part, de contribuer à l'analyse de
90 fonctionnements inappropriés apparaissant au sein des SST, et ce en examinant les caractéristiques de sa conception ainsi que
91 les conditions organisationnelles dans lesquelles s'inséraient cette conception, et d'autre part, de contribuer à l'obtention d'un
92 fonctionnement durable et efficace d'un SST. En cela, cette démarche en deux temps à partir de l'examen du fonctionnement
93 d'un SST nous semblent renvoyer à une démarche systémique (puisqu'en prenant dûment en compte les interactions entre des
94 facteurs techniques, humains et organisationnels (AIEA, 2016 ; OECD (OCDE), 2022)), démarche qui nous paraît pouvoir
95 contribuer utilement à la mise en place d'une réindustrialisation et d'une transition écologique efficaces et durables. Obtenir une
96 durabilité, en particulier, du fonctionnement d'un SST, nous semble en effet nécessiter que des conditions organisationnelles,
97 propices au déploiement de principes de conception favorables à la sécurité, aient été mises en place au préalable.

98

99

II. DESCRIPTION DE DEUX TYPES DE SYSTEMES SOCIOTECHNIQUES

100 A. *Le SST de contrôle de la trajectoire du Mars Climate Orbiter [MCO]*

101 1) *Constitution du SST*

102 Le sous-système social du SST considéré était composé d'au moins deux équipes : une équipe de salariés, responsable de la
103 navigation de l'orbiter, qui était située au sein du Jet Propulsion Laboratory (JPL) de la NASA et une autre équipe, responsable
104 de l'exploitation de l'orbiter, qui fournissait en particulier des données sur le fonctionnement de l'orbiter. Cette dernière équipe
105 était située au sein de Lockheed Martin, également le concepteur et le fabricant de cet engin spatial. Les deux équipes étaient en
106 télécommunication l'une avec l'autre.

107 En termes chronologiques (cf. Rapport d'enquête, 1999), la NASA envoya, en 1998, le Mars Climate Orbiter à destination
108 de la planète Mars. Des corrections de trajectoire furent envoyées par le JPL à l'orbiter pendant son voyage dans l'espace
109 interplanétaire, et ce en se servant des données de force de poussée transmises au JPL par Lockheed Martin. Or, les valeurs
110 fournies par Lockheed Martin à la NASA étaient en fait exprimées en livres (unités de force du système impérial) alors que la
111 NASA pensait que les valeurs reçues étaient exprimées en newtons (Système International d'unités [SI]). Les corrections de
112 trajectoire furent alors inadaptées. Ainsi, en septembre 1999, l'orbiter arriva dans l'atmosphère martienne à une altitude plus basse
113 que prévue, ce qui l'a détruit.

114 2) *Processus de conception du SST*

115 Le rapport d'enquête, considéré ici, indiqua plusieurs recommandations, relatives aux causes racines de l'accident, des
116 recommandations à prendre en compte par le futur projet Mars Polar Lander (MPL) faisant suite au projet MCO. L'objectif était
117 d'éviter que les problèmes pointés dans le cadre du projet MCO ne surviennent à nouveau dans le cadre de ce nouveau projet
118 MPL. Ainsi, il était recommandé au projet MPL de vérifier l'utilisation constante des unités du système international tout au long
119 de la conception et de l'exploitation du nouvel engin spatial. Le comité recommanda aussi d'effectuer un audit des logiciels
120 concernés par les données transférées entre l'équipe de navigation du JPL et l'équipe d'exploitation de l'engin spatial MPL.
121 L'objectif était de vérifier leur conformité aux spécifications d'interfaçage entre les logiciels (SIS), qui indiquaient, en particulier,
122 de transférer des données établies selon les unités du SI.

123 Ainsi, ce rapport pointe en creux, selon nous, un manque de vérification et de contrôle de la part de la NASA sur les systèmes
124 d'unités utilisées par son sous-traitant lors de la conception et de l'exploitation des engins spatiaux ainsi qu'un manque de
125 vérification de la conformité des logiciels aux spécifications d'interfaçage entre logiciels. En d'autres termes, cela pointe, d'une
126 manière indirecte, un déficit de conception participative puisque la NASA ne connaissait pas vraiment les méthodes et les
127 données utilisées par son sous-traitant. De son côté, la deuxième recommandation pointe, indirectement, le manque de
128 connaissances par la NASA du fonctionnement des logiciels responsables des transferts de données entre les acteurs. Plus
129 globalement, cela témoigne aussi d'un déficit d'essais de fonctionnement du SST considéré.

130 B. *Le SST de contrôle de la trajectoire d'un godet de pelleuse lors d'une opération de terrassement*

131 Les agressions externes (par exemple l'agression mécanique d'une canalisation par le godet d'une pelleuse) représentent la
132 principale cause d'incidents sur les réseaux de transport de gaz naturel en France. De nombreuses mesures existent déjà pour
133 lutter contre ces agressions : protections mécaniques, surveillance du réseau, campagnes de sensibilisation, réglementation
134 travaux tiers... Toutefois, des progrès restent toujours possibles et c'est justement l'objet de la suite de ce chapitre : la présentation
135 d'un nouveau SST imaginé par GRTgaz dont l'un des éléments techniques vise à alerter l'équipe de terrassement lorsque le
136 godet de la pelleuse s'approche à une distance critique de la ou les canalisations de gaz enterrées situées à proximité.

137

138 1) *Constitution du nouveau SST mis en place pour les opérations de terrassement*

139 Ce SST est constitué d'un sous-système social (des opérateurs de terrain) et d'un sous-système technique (des outils, au sens
140 large, pour l'intervention et une canalisation).

141 Le sous-système social comprend différents opérateurs. Sur le chantier, la maîtrise des risques est assurée par l'agent GRTgaz
142 et une équipe de terrassement (un chef de chantier, un pelleuse et un suiveur). L'organisation peut également comprendre un
143 représentant de la maîtrise d'ouvrage GRTgaz (superviseur).

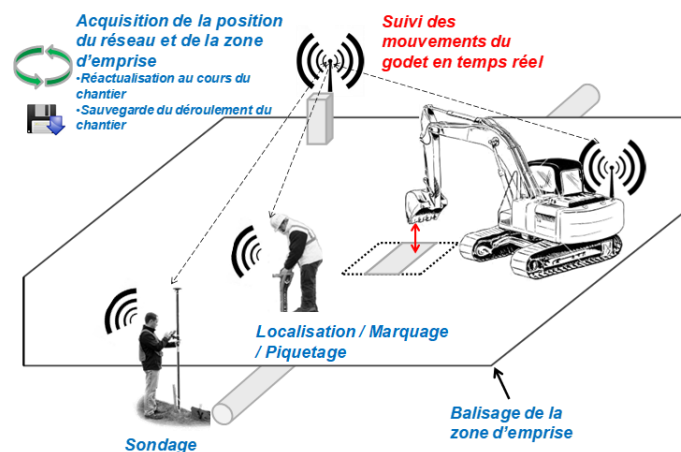
Les principales missions des acteurs sont brièvement décrites ci-dessous :

145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162

- **Le superviseur** représente la maîtrise d'ouvrage afin d'assurer le bon déroulement du chantier. Il prend connaissance des concessionnaires voisins et de leurs recommandations. Il recueille les données techniques sur la canalisation. Il s'assure que l'exploitant valide la méthode utilisée pour le terrassement/remblai (intégrité canalisation). Il favorise la communication entre les différents acteurs et parties intéressées.
- **L'agent GRTgaz** valide le matériel et la méthodologie de terrassement proposée par l'entreprise. Il valide l'emprise du chantier et de la fouille proposée par l'Entreprise. Il détecte et matérialise l'ouvrage GRTgaz sur l'emprise du chantier. Il vérifie la concordance entre les plans et la détection en faisant réaliser des sondages.
- **Le chef de chantier** prend rendez-vous avant le démarrage du chantier avec l'agent GRTgaz et signe le compte-rendu de réunion de visite chantier. Il dispose avec lui de tous les documents utiles à l'exécution des travaux. Il assure la transmission des consignes au suiveur et au pelleteur sur les travaux à réaliser.
- **Le pelleteur** vérifie le bon fonctionnement des dispositifs de détection et d'alerte de son véhicule, suit les consignes données par le suiveur de pelle selon les signes de guidage convenus dans l'entreprise et contrôle l'absence du personnel à pied dans la zone d'évolution.
- **Le suiveur** doit être accepté et reconnu par le conducteur de pelle. Il fait exécuter par le pelleteur les consignes données par le chef de chantier/équipe. Il s'assure de la finesse du terrassement. Il est garant des règles imposées par GRTgaz (précision du pelleteur et « non accrochage » d'éléments lors du terrassement à l'aplomb du godet). Il guide le pelleteur en appliquant les signes de guidage de l'entreprise.

163
164
165
166
167
168
169
170

Le sous-système technique comprend une pelleuse, des outils pour le piquage, les sondages... et un système d'Aide à la Réalisation de Terrassement à proximité de Réseaux de gaz Enterrés (Système **ARTeRE**). Ce système **ARTeRE** repose sur l'acquisition et l'exploitation de données de géoréférencement des canalisations de gaz enterrées et des limites de la zone d'emprise des chantiers. Cette solution vise à suivre la position du godet et à mesurer en temps réel la distance godet/canalisation. Il vise à limiter les conséquences d'erreurs de représentation (par exemple : biais attentionnel ou défaut de communication) ou d'erreur d'arbitrage (notamment dans des situations perturbées ou sous contraintes de temps). L'objectif est, à partir d'alarme visuelle et sonore de renforcer la vigilance des acteurs du chantier, prenant ainsi en compte à la fois les dimensions techniques, humaines et organisationnelles de la sécurité. Le SST est illustré par le schéma ci-dessous :



171
172
173

Figure 1 : Illustration du fonctionnement du SST lors d'une opération de terrassement

174

2) Processus de conception du SST

175
176
177
178
179
180
181
182
183
184

La conception du système ARTeRE et de son intégration dans le SST pré-existant est basée sur une approche intégrée qui combine des compétences en gestion des risques, en ingénierie technique et dans le domaine des facteurs humains et organisationnels. Ces différentes compétences ont été mises en œuvre de manière complémentaire, visant à maintenir la cohérence nécessaire tout au long du projet entre quatre principales « briques » de conception (voir la figure 2 ci-dessous) :

- La définition des exigences de sécurité du système futur,
- La modélisation de la sécurité du système sociotechnique existant,
- La modélisation des risques sociotechniques du système existant,
- L'ingénierie du système sociotechnique innovant.

L'articulation de ces briques est décrite schématiquement ci-dessous :

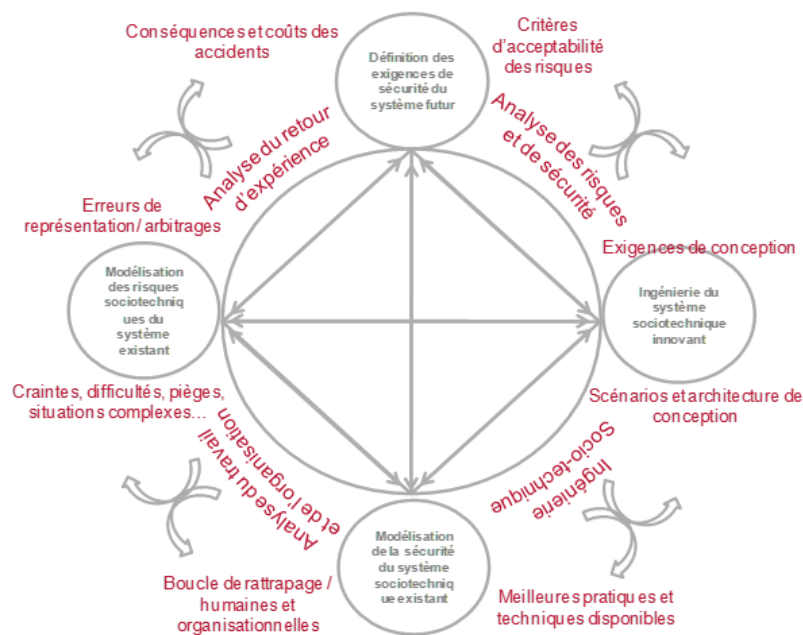


Figure 2 : Modèle de conception intégrée d'un système sociotechnique

a) *Définition des exigences de sécurité du système futur*

Les règles de terrassement sont les suivantes :

- Zone d'emprise de l'ouvrage : travail, avec des engins mécaniques, autorisé uniquement en présence d'un agent GRTgaz.
 - Le terrassement mécanique est autorisé au-delà des 40 cm appliqués à la zone d'incertitude en classe de précision A (conformément à la réglementation).
 - Le terrassement manuel est obligatoire à proximité de l'ouvrage à moins de 40 cm de la canalisation en classe de précision A.
- Zone hors emprise de l'ouvrage : travail possible avec des engins mécaniques sans la présence de GRTgaz.

Le terrassement mécanique est donc interdit à moins de 40 cm de la canalisation (selon les trois dimensions en X, Y et Z). Le terrassement est également interdit à l'extérieur de la zone d'emprise des travaux (zone à l'intérieur de laquelle les ouvrages de gaz ont été préalablement repérés et matérialisés)¹. Dans la suite de la communication, ces espaces seront désignés « Zone de Terrassement Non Sûr » (ZTNS) par distinction avec la « Zone de Terrassement Sûr » (ZTS : terrassement mécanique autorisé à une distance supérieure à 40 cm du fuseau de la canalisation et à l'intérieur de la zone d'emprise des travaux).

b) *Modélisation de la sécurité du système sociotechnique existant avant l'introduction du système ARTeRE*

Le déroulement type d'un chantier de terrassement peut être décomposé en trois phases principales : avant le démarrage du terrassement, pendant le terrassement et à la fin du terrassement.

Pendant le terrassement, ce chantier à proximité d'une canalisation de gaz enterrée s'apparente à la résolution collective d'un problème dont les inconnus sont les coordonnées X, Y et Z de la canalisation de gaz (et de celles des éventuels autres réseaux ou obstacles présents à proximité). Au cours du terrassement, chaque volume de terre excavé (mécaniquement ou manuellement) permet à chacun de vérifier les hypothèses retenues avant le démarrage du chantier concernant la localisation et la trajectoire des canalisations et d'actualiser sa représentation de la situation, des risques encourus et de la stratégie de terrassement à adopter. Chacun prend sa part de responsabilité dans la surveillance des opérations, le maintien de marges suffisantes de sécurité pour garantir l'intégrité de la canalisation de gaz et le cas échéant dans l'ajustement ou l'interruption du chantier : c'est cette vigilance partagée qui permet d'assurer la maîtrise des risques au cours du terrassement.

¹ La zone d'emprise du chantier a fait l'objet d'une analyse de risques et de mesures de maîtrise des risques appropriées (détection et marquage au sol des canalisations...) en conséquence de la présence repérée d'une canalisation de gaz enterrée. En dehors de cette zone, la localisation des réseaux en présence n'a pas fait l'objet d'une telle analyse de risques : les incertitudes qui en résultent font de cette zone une zone de terrassement non sûr.

217 c) *Modélisation des risques sociotechniques du système (sociotechnique) avant l'introduction du système ARTeRE*

218 La modélisation a été réalisée à partir de l'analyse sur le terrain de chantiers en zone urbaine et de l'analyse des rapports
219 d'incident. La démarche mise en œuvre a permis de mettre en évidence trois sources potentielles de défaillances dans la maîtrise
220 du risque d'accrochage :

- 221 • L'existence d'une canalisation de gaz enterrée n'est pas connue des intervenants.
- 222 • La canalisation est connue, mais mal repérée ou localisée.
- 223 • Il existe un doute sur la localisation précise de la canalisation.

224 A partir de ces données, deux types d'erreurs sont distingués :

- 226 – Les erreurs de représentation :
 - 227 ○ L'existence de canalisations de gaz enterrées ou les limites de la zone d'emprise du chantier ne sont pas
 - 228 connues ou ont été oubliées
 - 229 ○ Les canalisations ou les limites de la zone d'emprise du chantier sont connues, mais sont mal localisées,
 - 230 repérées ou imaginées
- 231 – Les erreurs d'arbitrage : un conflit d'objectif ou de priorité existe ; le risque d'accrochage est sous-estimé conduisant
232 à une décision inappropriée.

233 d) *Ingénierie du système sociotechnique innovant*

234 La fonction principale du système technique ARTeRE est d'alerter le pelleteur de la sortie de ZTS. Les fonctions techniques
235 en jeu sont les suivantes :

- 236 - FT1 : Mesurer la distance godet/réseau,
- 237 - FT2 : Transmettre les données,
- 238 - FT3 : Analyser/traiter les données,
- 239 - FT4 : Avertir le pelleteur.

240 Cette fonction principale se décompose en deux sous-fonctions :

- 242 – Cas n°1 : terrassement mécanique à l'intérieur de la ZTS à une distance inférieure ou égale à 40 cm du fuseau de la
243 canalisation. Dans ce cas une alarme sonore continue retentira, associée au déclenchement d'un gyrophare de couleur rouge
244 situé sur le dessus de la cabine et à l'activation d'un indicateur lumineux de couleur rouge situé à l'avant du bras de la
245 pelleteuse (zone d'exploration visuelle privilégiée par le pelleteur).
- 246 – Cas n°2 : terrassement mécanique à l'extérieur de la ZTS. Dans ce cas une alarme sonore discontinue retentira, associée
247 au déclenchement d'un gyrophare de couleur jaune situé sur le dessus de la cabine et à l'activation d'un indicateur lumineux
248 de couleur jaune situé à l'avant du bras de la pelleteuse (zone d'exploration visuelle privilégiée par le pelleteur).

251 III. DES CARACTERISTIQUES DES PROCESSUS DE CONCEPTION DES SST FAVORABLES A LA SECURITE –
252 DES PRINCIPES DE CONCEPTION

253 De la planète Mars à la canalisation de gaz en milieu urbain, les deux cas décrits ci-dessus sont bien physiquement séparés
254 par des millions de kilomètres mais ils nous semblent intellectuellement proches et susceptibles d'amener des leçons communes.
255 Celles-ci ne sont certainement pas exhaustives mais peuvent néanmoins déjà prétendre constituer des bonnes pratiques de
256 conception. Ainsi, que ce soit le crash du Mars Climate Orbiter ou l'approche ARTeRE, l'échec de l'un ou la réussite de l'autre
257 nous invitent à questionner les regards que l'on porte sur les systèmes à risques que nous créons et à l'opportunité d'y intégrer
258 des dimensions sociales ; l'investissement correspondant variera naturellement comme les autres dimensions en fonction des
259 contraintes temporelles et budgétaires.

260 Les trois caractéristiques des processus de conception que nous allons présenter sont proches de trois grands principes
261 développés dans la norme internationale 9241- 210 « Conception centrée sur l'opérateur humain pour les systèmes interactifs ».
262 C'est la raison pour laquelle nous nous sommes autorisés à parler également de principes dans le cadre de notre étude lorsque
263 nous pointons des caractéristiques de conception favorables à la sécurité.

264 La norme précédente énonce le processus à suivre par les équipes en charge de la conception de systèmes techniques ou
265 sociotechniques. L'objectif est d'aider à concevoir des systèmes *in fine* « utilisables et utiles », et ce en se concentrant sur les
266 utilisateurs (finaux et autres) et leurs besoins. Notons d'ailleurs, que concevoir un système, technique ou sociotechnique, suivant
267 le prisme de la conception centrée utilisateur ne fait pas qu'en améliorer l'efficacité et l'efficience. Cela améliore également la
268 durabilité et « réduit les effets nuisibles potentiels de leur utilisation sur la santé, la sécurité et les performances ». Cette
269 « approche » de conception ne cherche pas à exclure les autres démarches projet. Elle vise au contraire à être intégrée à divers
270 processus ou méthodes de conception (Agile, waterfall, cycle en V...). Les principes de cette norme, dont la première version
271 est parue en 1999, ont été validés par plus de deux décennies de mise en application.

272 Les trois grands principes de la norme sont l'implication des utilisateurs, la dimension itérative de la conception et la
273 compréhension explicite du travail des utilisateurs :

274 - **Principe d'implication des utilisateurs dans la conception.** Par leur participation effective au processus de conception des
275 systèmes, les utilisateurs (tous, pas seulement ceux qui les exploitent mais également ceux qui les configurent, les déploient, les
276 maintiennent en conditions de fonctionnement soit tous les utilisateurs en interaction avec ces systèmes et ce dans chacune de
277 leurs phases de vie) sont des vecteurs de connaissance sur l'emploi des systèmes existants, sur les contextes d'emploi, sur les
278 points faibles mais aussi les points forts du « legacy » (systèmes toujours utilisés dont on « hérite ») ;

279 - **Principe de dimension itérative de la conception centrée sur l'utilisateur.** En effet, aucune solution n'est la bonne du premier
280 coup. La conception participe d'un principe de maturation nécessairement inscrite dans une temporalité. Un concept, une idée
281 qui peuvent sembler adaptés *a priori* se révèlent parfois inappropriés une fois travaillés. Le travail des « solutions » de conception
282 avec les utilisateurs permet d'en prendre conscience, de s'apercevoir que les besoins exprimés étaient, par exemple, mal compris
283 par l'équipe de conception ;

284 - **Principe de compréhension explicite du travail des utilisateurs, des tâches et des environnements.** Cela passe par l'analyse
285 de l'activité opérationnelle (qu'il s'agisse de faire évoluer des systèmes existants ou d'en créer de nouveaux). En effet, la grande
286 majorité des besoins utilisateurs se cache dans la compréhension fine de leur activité, de chaque tâche et de chaque action.

287 De fait, notre propos est de proposer trois principes de conception qui ont été construits en se basant sur ceux de la norme
288 précédente mais que l'on a enrichi en intégrant en particulier le champ des sciences de gestion. Les dénominations des trois
289 principes présentés ici seront donc quelque peu différentes. Mais le lecteur pourra aisément percevoir la filiation avec les
290 principes de la norme précédente.

291 Le premier principe, présenté ici, est relatif à une conception qui intègre pleinement une ingénierie participative permettant
292 d'adapter les modalités d'inclusion des acteurs, et donc des dimensions techniques et sociales qu'ils portent, dans le processus
293 de conception. Le deuxième consiste en un principe de « modestie » qui suppose que nos modèles d'anticipation, y compris ceux
294 développés dans des cadres participatifs, ne peuvent se hisser au niveau de la complexité du réel. Par conséquent, plutôt que
295 d'envisager des phases de conception distinctes de celles de l'opérationnalisation, il s'agit ici de promouvoir une approche
296 hybride visant à articuler de manière continue, la conception et l'expérimentation, même quand celle-ci se fait à petite échelle,
297 ou encore, quand cela est possible, par la simulation. Nous parlerons dans la suite d'une approche hybride
298 conception/expérimentation. Enfin, le troisième principe porte sur la nécessité d'analyser le travail réel réalisé par les utilisateurs
299 des systèmes techniques.

300 Dans la suite de ce chapitre, chacun des trois principes sera explicité et relié aux deux cas présentés dans le chapitre II. Nous
301 verrons, dans ce qui suit, la manière dont ces trois principes ne peuvent découler que d'une vision sociotechnique des systèmes.
302

303 A. Principe 1 : Conception participative

304 1) Éléments de définition

305 Le concept de participation peut se définir comme la création d'espaces d'échanges, ou d'interactions, dimensionnés pour
306 accueillir et confronter les apports de l'ensemble des acteurs jugés pertinents pour une problématique donnée (Mazri, 2007). Une
307 telle définition est à distinguer des approches dites de « concertation » qui, si elles sont répandues dans le langage courant, ne
308 sont pas porteuses de modèles formels sur lesquels nous pouvons nous appuyer.

309 Ces espaces d'échanges, que l'on peut qualifier comme des organisations même si leurs structures hiérarchiques peuvent être
310 beaucoup plus souples et moins bien formalisées, possèdent des degrés de liberté variés :

- 311 - *la taille* définie par le nombre de participants qui peut varier de moins d'une dizaine à plusieurs centaines ;
- 312 - *les modalités de participation* attribués à chaque participant : information, collecte de connaissances, prise en compte de
313 systèmes de valeurs, pouvoir décisionnel, veto... ;
- 314 - *les règles d'interaction* qui structurent les modalités d'échange ;
- 315 - *le périmètre de travail* qui se traduit par une vision plus ou moins restrictive de la ou des problématiques qui y seront traitées ;
- 316 - *la durée et les termes de clôture* qui doivent être définis en amont afin de rationaliser les efforts collectifs et partager des
317 objectifs communs.

318 Sur cette base, nous pouvons définir l'ingénierie participative comme le dimensionnement de chacun de ces cinq paramètres
319 en fonction de la situation rencontrée. Un tel processus est hautement dynamique dans la mesure où chacun de ces degrés de
320 liberté est influencé et influence les autres. Ainsi, à titre d'exemple, la durée va fortement dépendre du nombre de participants
321 qui, eux-mêmes, sont dépendants du périmètre de travail.

322 2) Problématique sociotechnique associée en situation de conception

323 Tout processus de conception d'un système compliqué, voire complexe, implique une approche collaborative déjà largement
324 reconnue et documentée en gestion de projets (Bravo et al., 2021) ou en management de l'innovation (Xie et al., 2023).

325 Le principe de conception participative proposé ici postule que la qualité globale d'un tel processus, et par conséquent, de
326 ses résultats, est fortement dépendant de la qualité de la structure participative sous-jacente. Appliquée au domaine des risques,
327 ce principe postule que les modalités d'identification, d'évaluation et de traitement des risques au travers notamment de boucles

328 de régulation adaptées, va être fortement dépendant de la structure sociale qui organisera les interactions des différents
329 participants tout au long du processus technique de conception.

330 Ancré dans une logique constructiviste (Glaserfeld, 1984), ce principe se décline en deux parties :

331 - *la prise en compte de la dimension sociale d'un système ne peut se faire qu'au travers des acteurs qui les portent.* Ainsi, les
332 dimensions sociales associées au système à concevoir ne peuvent être portées que par les acteurs qui les représentent au travers
333 de leurs connaissances, usages, pratiques opérationnelles et valeurs. De ce fait, toute défaillance en termes d'identification d'un
334 acteur pertinent, ou son inclusion tardive impliquera par conséquent une omission qui risque de nuire à la connaissance des
335 risques ou à leur évaluation en situation réelle ;

336 - *la bonne prise en compte de la dimension sociale d'un système passe nécessairement par la conception d'une bonne structure*
337 *participative.* Il ne suffit pas que les bonnes personnes soient présentes, il faut encore que les modalités de leur participation en
338 termes de temporalité et niveau d'inclusion permettent une juste représentation et prise en compte des éléments qu'ils apportent
339 à la compréhension du problème.

340 Au travers une telle démarche participative, la conception peut intégrer l'ensemble des risques associés au cycle de vie du
341 produit ainsi que la variété des conditions de son exploitation, pour peu que ces différents contextes soient correctement
342 représentés dans la structure participative sous-jacente au processus de conception.

343 3) *Analyse rétrospective des deux cas d'étude*

344 Un système n'est ni technique ni sociotechnique en soit. Ce sont nos regards et les modèles que nous y appliquons qui en
345 font l'un ou l'autre. Ainsi, dans le cadre du Mars Climate Orbiter, la NASA a possiblement considéré le système comme
346 exclusivement technique car le MCO agissait de manière autonome sur la base des indications de trajectoire qui lui étaient
347 données au cours de son vol. Une vision exclusivement technique de l'orbiter peut mener à exclusion, de la modélisation du
348 système, des phases d'interaction sociales entre les équipes et conduire, ainsi, à une absence de prise en compte de risques comme
349 une confusion d'unités de mesure et à une absence de boucles de régulation/correction de ce précédent risque. En outre, la
350 recommandation du rapport d'enquête de vérifier en continu l'utilisation des unités par le sous-traitant lors des phases de
351 conception et d'exploitation peut laisser imaginer un manque de connaissance par la NASA des référentiels de son sous-traitant
352 ainsi qu'un manque ou une défaillance de structures participatives qui auraient permis de partager ces référentiels.

353 Dans le contexte des chantiers de terrassement visés par l'étude ARTeRE, l'approche prenait résolument pour exigence que
354 le système à concevoir devait pouvoir s'intégrer le mieux possible dans l'environnement existant, y compris dans ses dimensions
355 sociales, considérant notamment le caractère partagé de la gestion des risques entre tous les participants. Le système à concevoir
356 devait permettre d'alerter le pelleteur et l'équipe de terrassement lorsque le godet de la pelleuse s'approche à une distance
357 critique de la ou les canalisations de gaz enterrées situées à proximité. Ainsi, dans le cadre de l'approche ARTeRE, le système
358 interactif à imaginer était envisagé non pas comme un système technique, comme par exemple le simple assemblage d'un capteur,
359 d'une unité de traitement et d'une alarme mais comme un système sociotechnique d'aide aux interactions humaines et à la co-
360 construction sociales du risque tout-au-long du chantier.

361 B. *Principe 2 : Articulation des phases de conception et d'expérimentation*

362 1) *Éléments de définition*

363 Ce deuxième principe est un corollaire du premier. En effet, dans le cadre de la vision constructiviste qui est la nôtre, le réel
364 est porté lors du processus de conception par les représentations des acteurs qui participent au processus. Or, les limitations de
365 nos capacités cognitives conjuguées à nos biais de représentation et au caractère nécessairement faillible des structures
366 participatives que nous concevons font que les artefacts de conception résultant sont nécessairement en dessous de la complexité
367 du réel. Pour compenser cette limite indépassable de toute démarche basée uniquement sur des modèles individuels ou collectifs
368 d'anticipation, une hybridation avec le réel apparaît comme un principe nécessaire visant à générer des apprentissages facilement
369 intégrables dès le processus de conception. Ainsi, l'objectif ici est de permettre de démultiplier les interactions entre modèle et
370 réel tout au long du processus de conception afin d'améliorer l'intégration des dimensions sociotechniques du système le plus
371 tôt possible, quand les changements éventuels qu'ils induisent sont moins coûteux et techniquement plus facilement réalisables.

372 2) *Problématique sociotechnique associée en situation de conception*

373 Conformément aux travaux de Soler (2009) et Dupouy (2011), nous considérons ici l'expérimentation comme une
374 intervention délibérée dans le cours des phénomènes en vue d'en déterminer les paramètres de contrôle pertinents.
375 L'expérimentation, couplée à l'observation constitue depuis longtemps un des piliers de l'épistémologie dans le sens où ils
376 constituent des mécanismes clés de production scientifique (Roeber et al., 2024). L'expérimentation a d'ailleurs pris une place
377 d'autant plus grande, depuis plusieurs décennies, que l'on parle de *tournant pratique* en épistémologie (Hacking, 1990).
378 Paradoxalement, ce mode de production scientifique est moins utilisé en sciences sociales où le recours à l'expérimental pour
379 démontrer des assertions sociales demeure encore sujet à discussion (Passeron, 1991).

380 Le principe proposé ici ne vise donc pas à expérimenter les assertions sociales des participants aux processus de conception.
381 Il s'agit plutôt d'expérimenter le résultat technique du processus d'expérimentation dans les divers contextes sociaux des
382 participants ; contextes qu'ils ne peuvent décrire que partiellement par eux-mêmes.

383 De telles expérimentations peuvent s'effectuer, dans le contexte de maîtrise des risques, par différents leviers. Nous pouvons
384 en citer quelques-uns ici :

385 - *Expérimentation basée sur une simplification organisationnelle.* L'expérimentation autour des dimensions sociales d'un objet
386 technique ne doivent pas nécessairement être exhaustives. Certaines fonctionnalités ou même certaines parties de l'organisation
387 peuvent être isolées pour en tester le fonctionnement. Ce mode de travail est particulièrement adapté pour des objets tels que
388 des logiciels ou outils de gestion dans la mesure où ils impliquent eux-mêmes des simplifications organisationnelles.

389 - *Simulation/Jeux de rôles.* On retrouve, dans cette catégorie, des approches de simulation plus ou moins aidées par
390 l'informatique. A titre d'exemple, les simulateurs sont aujourd'hui déployés aussi bien dans le transport aérien que ferroviaire
391 pour expérimenter les aspects sociaux des performances individuelles et/ou collectives des opérateurs. Les systèmes multi-
392 agents peuvent se révéler aussi d'intérêt pour introduire des règles d'interaction sociales dans des systèmes complexes et en
393 suivre le développement. Des approches moins informatisées peuvent aussi être déployés par des jeux de rôle.

394 - *Retour d'expérience.* Le REX est aussi un levier de confrontation des réalités sociales avec les pré-supposés considérés lors de
395 la conception. Pour être pleinement opérationnel, ce mécanisme d'expérimentation doit néanmoins s'appuyer sur des modalités
396 du REX (type d'évènements détectés, modalités de leur description, modalités d'analyse...) définies pour tester les paramètres
397 souhaités.

398 3) *Analyse rétrospective des deux cas d'étude*

399 Dans le cadre du Mars Climate Orbiter, il nous semble qu'une expérimentation de type essais de fonctionnement du SST
400 global, dans les différentes phases du vol de l'orbiter, essais suivis et analysés par des observateurs, aurait été un moyen utile
401 pour déceler le décalage d'unités de mesures. L'une des recommandations du rapport d'enquête pointe en creux une lacune de
402 connaissances par la NASA du fonctionnement des logiciels responsables des transferts de données entre les acteurs. Plus
403 globalement, cela témoigne d'un manque d'essais ou de validation du fonctionnement du SST global (équipe responsable de la
404 navigation, équipe d'exploitation de l'orbiter, l'orbiter...).

405 Du côté de l'approche ARTeRE, nous pouvons retrouver au moins deux traces de démarches d'expérimentation intégrées au
406 processus de conception : comme décrit en figure 2, le retour d'expérience a été analysé et des observations de chantiers ont été
407 réalisées afin de mieux comprendre les erreurs de représentation et d'arbitrage sous-tendant les accrochages.

408

409 C. *Principe 3 : Analyse du travail réel*

410 1) *Éléments de définition*

411 Ce troisième principe est complémentaire aux deux premiers. Il indique qu'il est nécessaire de comprendre et donc d'analyser
412 le travail tel qu'il se fait si l'on veut comprendre les pratiques originales et les difficultés des utilisateurs des systèmes techniques.
413 Que l'on soit dans le cas de l'évolution de systèmes existants ou dans la création de nouveaux systèmes, l'analyse de l'activité
414 opérationnelle, qui permet l'analyse du travail réel, est une étape fondamentale. Dans le cas de l'évolution de systèmes existant,
415 elle conduira, par la mise en œuvre de différents outils de l'ergonomie et de l'UX (User eXperience) design, à connaître
416 l'ensemble des tâches et des actions réalisées par les opérateurs, non pas d'un point de vue théorique comme le présenterait un
417 cours de formation ou un manuel opérateur, mais d'un point de vue pratique et réaliste. La distance est parfois grande entre les
418 tâches prescrites et les tâches réellement exécutées (variabilité de l'environnement, des conditions d'exécution, d'évolution des
419 outils, des niveaux de connaissances / compétences des opérateurs...). Derrière cette compréhension du travail se trouve la
420 connaissance des raisons à l'origine de chaque action élémentaire des opérateurs et donc des besoins associés à leur réalisation.
421 Les situations de conception qui concourent à l'évolution de systèmes sont généralement plus « confortables » que les situations
422 de conception de nouveaux systèmes en ce que l'analyse de l'activité et du REX fournissent aux équipes de conception des
423 informations sur les points forts des systèmes précédents mais aussi les points faibles. Elles sont donc des sources d'information
424 précieuses pour la sécurisation de la conception et pour éviter que les erreurs de conception des systèmes antérieurs ne soient
425 reconduites. La situation est un peu différente lors que l'on conçoit de nouveaux systèmes, en ce que l'on ne peut justement pas
426 tirer d'information de l'usage des systèmes eux-mêmes puisque n'existant pas encore. Toutefois, des systèmes ayant des
427 caractéristiques ou fonctionnalités similaires peuvent toujours être source d'inspiration auxquels appliquer l'analyse de l'activité
428 opérationnelle.

429 L'analyse de l'activité s'applique à la conception de systèmes sociotechniques comme nous venons de le voir et en particulier
430 à toute situation de travail. Elle peut donc être appliquée de la même manière au travail des concepteurs des systèmes pour mettre
431 en lumière les forces et les faiblesses d'un dispositif de conception.

432 2) *Problématique sociotechnique associée en situation de conception*

433 Pour la conception des systèmes sociotechniques, l'analyse de l'activité est une étape préliminaire à la conception, étape
434 fondamentale comme nous l'indiquons précédemment. Toute la difficulté vient du fait qu'elle soit préalable à la conception et
435 s'inscrive donc dans un décalage temporel. La conception d'un système n'échappe pas à la problématique de la contractualisation
436 entre un client (qui exploite le système in fine. A noter qu'il existe certaines exceptions comme celle de la Direction Générale de
437 l'Armement (DGA) qui est le client des industriels de défense achetant au profit des forces armées. Dans ce cas, le client n'est
438 pas l'utilisateur) et un fournisseur. La contractualisation se base sur un jeu d'exigences techniques spécifiant les fonctionnalités
439 attendues du système. L'analyse de l'activité contribuant directement à la définition des besoins de l'utilisateur final devrait être
440 un élément d'entrée à l'élaboration du cahier des charges contractuel. Malheureusement, il est très fréquent que l'analyse de
441 l'activité ne soit faite que pendant la réalisation du contrat. Dans ce cas, compte tenu du temps nécessaire à sa réalisation souvent
442 agrémenté de difficultés d'accès aux utilisateurs finaux, elle ne permet non seulement pas d'alimenter le cahier des charges qui

443 se révèle parfois en écart avec le besoin réel des opérateurs (méconnu ou mal connu) mais en plus est réalisée, au mieux, en
444 même temps que la conception. Ses conclusions arrivent donc parfois trop tard par rapport à la conception. Certaines conclusions
445 ne peuvent donc pas être prises en compte sinon au prix d'un surcoût nécessaire aux travaux de re-conception.

446 Pour la conception des situations de conception, il est très rare qu'une analyse de l'activité soit conduite. Les raisons sont
447 nombreuses. Réaliser une analyse de l'activité pour chaque utilisateur du système de conception représente un travail très
448 volumineux qu'il s'agisse de la faire de manière rétrospective sur un système de conception existant ou de manière prospective
449 sur un système de conception à concevoir. La conception du système de conception se fait par retour d'expérience et anticipation
450 de nouvelles technologies ou contraintes sans nécessairement suivre une démarche formelle. Cependant, l'analyse de l'activité
451 peut porter ponctuellement sur certaines fonctions ou utilisateurs (concepteurs) pour répondre localement à des besoins
452 spécifiques d'amélioration de la situation de travail.

453 3) *Analyse rétrospective des deux cas d'étude*

454 Dans le cas de l'orbiter, l'analyse du travail réellement réalisé aurait vraisemblablement pointé les données utilisées en
455 particulier par les équipes exploitant des engins spatiaux chez Lockheed Martin et celles utilisées par les équipes de navigation
456 du JPL de la NASA. Cela aurait vraisemblablement concouru à pointer les discordances entre les unités.

457 Dans le cas du projet ARTeRE, c'est bien l'analyse du travail réel qui a permis de pointer précisément le travail de chacun
458 des acteurs de l'équipe et de dégager des pistes visant à soutenir et pointer la vigilance partagée de l'équipe. Sur la base de cette
459 analyse, les exigences facteurs humains suivantes ont été déduites :

- 460 • Alerter le pelleteur et l'équipe de terrassement lorsque l'existence de canalisations de gaz enterrées ou les limites de
461 la zone d'emprise du chantier ne sont pas connues ou ont été oubliées conduisant à terrasser mécaniquement hors ZTS.
- 462 • Alerter le pelleteur et l'équipe de terrassement lorsque les canalisations ou la zone d'emprise du chantier sont connues,
463 mais sont mal localisées, repérées ou imaginées conduisant à terrasser mécaniquement hors ZTS.
- 464 • Alerter le pelleteur et l'équipe de terrassement lorsqu'un conflit d'objectif ou de priorité existe, ou bien lorsque le
465 risque d'accrochage est sous-estimé conduisant à terrasser mécaniquement hors ZTS.

468 IV. DES CONDITIONS ORGANISATIONNELLES PROPICES A LA MISE EN PLACE DE PRINCIPES POUR UNE 469 CONCEPTION ADEQUATE

470 Dans ce chapitre, nous discuterons du contexte organisationnel qui nous semble propice à la mise en œuvre des trois principes
471 précédents pour une conception adéquate. En effet, identifier quelques bons principes est certes nécessaire mais cela n'est
472 cependant pas suffisant. Ces principes peuvent ne pas être mis en œuvre ou mal mis en œuvre du fait d'outils, de contraintes
473 temporelles, financières, d'organisations trop cloisonnées...

474 Les quatre auteurs ont donc cherché, en utilisant leur retour d'expérience, à repérer des conditions organisationnelles
475 nécessaires pour que les trois principes de conception du chapitre III puissent apparaître et se maintenir lors de la réalisation de
476 projets de conception dans une organisation. En d'autres termes, « qu'est-ce qui peut conduire à la mise en œuvre effective des
477 trois principes pour une conception adéquate ? » est la question que nous avons cherché à traiter ici.

478 Ces conditions ont été regroupées en trois ensembles selon le modèle du Triangle de naissance (cf. Vautier, 2015). Ce modèle
479 propose une adaptation organisationnelle d'un modèle physique : le triangle du feu qui permet d'expliquer la naissance de ce
480 dernier. Dans le cadre de ce modèle du triangle de naissance, les trois ensembles de conditions sont complémentaires et doivent
481 se conjuguer pour assurer la mise en place des trois principes de conception du chapitre III dans un projet.

482 A. *Des conditions externes à une organisation abritant les projets de conception*

483 Cela concerne par exemple la réglementation, les spécifications de conception basées notamment sur des normes... portant
484 sur l'intégration des dimensions humaines, sociales et organisationnelles dans les projets de conception ainsi que les acteurs
485 correspondants que sont les autorités, les clients/maîtres d'ouvrage... qui conçoivent et s'assurent du respect de cette
486 réglementation, des spécifications émises... Cela concerne les secteurs de l'aérospatial, l'énergie, la chimie, le nucléaire,
487 l'armement... On parle généralement pour ces dimensions de Facteurs Organisationnels et Humains (FOH), d'UXDesign,
488 d'Ingénierie des Facteurs Humains (IFH)... selon les secteurs considérés. Ainsi, dans le secteur du nucléaire, l'arrêté du 7 février
489 2012 évoque plusieurs fois ces aspects relevant des SHS (Sciences Humaines et Sociales) que sont les FOH. Leur prise en compte
490 est précisée dans plusieurs articles de l'arrêté.

491 B. *Des conditions internes à une organisation abritant les projets de conception*

492 Cela concerne par exemple les référentiels documentaires internes en matière de FOH, UXDesign, IFH..., dédiés notamment
493 à la conception, et les ressources humaines correspondantes liées aux métiers évoqués précédemment. Ces personnels réalisent
494 les référentiels documentaires internes aidant à la mise en place de la réglementation, des spécifications externes... et mettent en
495 œuvre, en particulier, les trois principes de conception développés dans le chapitre III. Ces acteurs internes effectuent des
496 informations, sensibilisations et formations, réalisent des études, notamment de conception, assure la dynamique d'amélioration
497 continue en matière de FOH, UXDesign, IFH... ce qui passe par des mouvements de bouclage comprenant d'une part la diffusion
498 d'informations, de connaissances lors des formations, séminaires... et d'autre part la prise en compte du retour d'expérience lors
499

500 de la mise en œuvre d'espaces de discussions, de groupes de travail... Notons, d'ailleurs, qu'il y a un mouvement récursif entre
501 la mise en place des référentiels documentaires et celle des ressources humaines liées aux métiers FOH, UXDesign, IFH...
502 précédents (i.e. les deux ensembles de conditions s'autoalimentent l'un l'autre) ;

503 C. Des conditions catalysatrices des échanges entre les acteurs externes et les acteurs internes

504 Cela concerne par exemple des temps et des lieux de rencontre particuliers entre les acteurs externes et internes précédents.
505 Ces rencontres peuvent être formalisées dans les processus d'interactions entre acteurs (inspections des autorités de contrôle,
506 revues de projets...) mais aussi être en dehors de ces processus d'interactions formels. Dans ce cas, il s'agit par exemple de
507 journées d'études, de congrès comme par exemple le Lambda Mu, qui sont autant d'espaces de discussions. Il s'agit également
508 de réunions de groupes de travail comme par exemple les Groupes de Travail et de Réflexions (GTR) de l'Institut pour la Maîtrise
509 des Risques (IMdR). Dans le cadre de ces précédentes réunions de travail, des acteurs externes et internes peuvent alors échanger
510 par exemple sur les trois principes de conception du chapitre III.

511 Ainsi, ces trois ensembles de conditions nous semblent conduire, lorsqu'ils sont conjugués, au déploiement des trois principes
512 de conception du chapitre III dans les projets au sein d'une organisation.
513

514 V. CONCLUSION

515 L'analyse du retour d'expérience existant pour le cas du Mars Climate Orbiter ou la relecture de la conception du système
516 ARTeRE au travers de la perspective sociotechnique mettent en évidence la plus-value d'un tel prisme et l'intérêt de sa mise
517 en œuvre pour la conception de SST. Cette perspective adoptée dans cette communication montre que trois grands principes
518 qui en sont issus, à savoir la conception participative, l'articulation des phases de conception et d'expérimentation, et l'analyse
519 du travail réel, sont des leviers indispensables pour assurer une conception efficace des SST. Enfin, un contexte organisationnel
520 adéquat, intégrant des conditions internes, externes et catalysatrices des échanges entre les acteurs externes et internes à une
521 organisation abritant ces projets de conception est important pour garantir la robustesse de la conception de l'ensemble des SST
522 appelés par la réindustrialisation et la transition écologique efficaces et durables.

523 L'attention est particulièrement attirée sur les nombreux éléments complémentaires à ceux présentés ici et disponibles dans
524 la littérature qui sont autant de preuves de la plus-value et de l'importance de la perspective sociotechnique en conception.
525 Cette dernière n'est finalement qu'une des dimensions de ce que l'on pourrait appeler la « variété requise pour la conception
526 de SST ».
527
528

529

530 REFERENCES

- 531 • AIEA (2016). [Direction et gestion pour la sûreté, Prescriptions générales de sûreté N° GSR Part 2](#), IAEA Publishing,
532 Vienna, Austria.
- 533 • Bravo, A, Vieira, D.R, Bredillet, C. & Pinheiro, R. (2021). Review of collaborative project management approaches in
534 R&D projects, in Fernandes, G., Dooley, L. O'Sullivan, D. Rolstadas, & O. Managinig collaborative R&D projects.
535 Springer Nature Switzerland.
- 536 • Dupouy, S. (2011). L'expérimentation, dans : Philosophie des sciences humaines, édité par Fl. Hulak & Ch. Girard,
537 Paris : Vrin, 213–241.
- 538 • Glaserfeld, E. (1984). An introduction to radical constructivism, in Watzlawick, The invented Reality ; Norton Editions,
539 New York.
- 540 • Hacking, I. (1990). Philosophers of experiment. PSA proceedings of the Biennial meeting of the philosophy of science
541 association. Cambridge University Press.
- 542 • Mazri, C. (2007). Apport méthodologique pour la structuration de processus de décision publics en contextes
543 participatifs : le cas des risques majeurs en France.
- 544 • OECD/NEA (2022). Human and Organisational Performance in Nuclear Installations, Nuclear Safety, OECD
545 Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/97859635-en>.
- 546 • Passeron, J.C. (1991). Le raisonnement sociologique. L'espace non popperien du raisonnement naturel. Nathan, Paris.
- 547 • Rapport d'enquête (1999). Mars Climate Orbiter, Mishap Investigation Board, Phase I Report
- 548 • Roeber, B., Sosa, E., Steup, M. & Turri, J. (2024). Contemporary debates in Epistemology. John Wiley and Sons Eds.
- 549 • Soler, L. (2009), Introduction à l'épistémologie, Paris : Ellipses.
- 550 • Trist, E. & Bamforth, K. (1951). Some Social and Psychological Consequences of Longwall Method of Coalgetting.
551 Human Relations 4, 3–38.

- 552
- 553
- 554
- 555
- 556
- 557
- Vautier, J.-F. (2015). The Birth Triangle: a New Approach to Study the Birth of Systems. *Advances in Systems Science and Applications*, 15(1), 90-98. Retrieved from <https://ijassa.ipu.ru/index.php/ijassa/article/view/390>
 - Villemeur, A. (1988). *Sûreté de fonctionnement des systèmes industriels*. Editions EYROLLES, Paris.
 - Xie, X., Liu, X. & Chen, J. (2023). A meta-analysis of the relationship between collaborative innovation and innovation performance : The role of formal and informal institutions. *Technovation* 124, pp36-51.