

RAPPORT D'ÉTUDE
DRA-13-133733-13062A

11/12/2013

**Référentiel pour la réalisation d'une étude de
dangers relative aux conduites forcées
principales et aux matériels annexes**

INERIS

maîtriser le risque |
pour un développement durable |

Référentiel pour la réalisation d'une étude de dangers relative aux conduites forcées principales et aux matériels annexes

INERIS
Direction des Risques Accidentels

PRÉAMBULE

Le présent document propose un guide méthodologique d'aide à la réalisation des études de dangers (EDD) applicables aux conduites forcées (CF).

Ce document ne contient pas de prescriptions que les responsables d'ouvrages devraient impérativement respecter. En revanche, il contient des informations sur les méthodes et les références techniques auxquelles les responsables d'ouvrages sont susceptibles de recourir pour leurs études de dangers.

Le présent document a été établi sur la base des réflexions d'un groupe de travail, comprenant des représentants des services de contrôle (DREAL), des exploitants (EDF, SHERM), des experts de l'INERIS et de la DGPR (BETCGB). Il s'est notamment appuyé sur le guide de sécurité des conduites forcées principales et des matériels annexes (2009) élaboré par la Direction Générale de la Prévention des Risques du Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie (MEDDE).

	Rédaction	Vérifications		Approbation
NOM	BALOUIN Thibault	Frédéric MERLIER	Guillaume CHANTELAUVE	Sylvain CHAUMETTE
Qualité	Ingénieur à l'unité "Démarche Intégrée d'Analyse et de Gestion des risques" Direction des Risques Accidentels	Responsable de l'unité "Démarche Intégrée d'Analyse et de Gestion des risques" Direction des Risques Accidentels	Délégué Appui à l'Administration Direction des Risques Accidentels	Responsable du Pôle "Analyse et Gestion Intégrée des Risques" Direction des Risques Accidentels
Visa				

Table des matières

ABREVIATIONS UTILISEES	5
1. INTRODUCTION.....	7
1.1 Généralités	7
1.2 Contexte	7
2. GLOSSAIRE TECHNIQUE	9
3. GUIDE METHODOLOGIQUE POUR LA RÉDACTION D'UNE ÉTUDE DE DANGERS D'UNE CONDUITE FORCÉE ET DE SES MATÉRIELS DE SÉCURITÉ ANNEXES.....	11
3.1 Résumé non technique (RNT).....	12
3.2 Renseignements administratifs	12
3.3 Définition du périmètre d'étude.....	12
3.4 Description et analyse fonctionnelle de l'ouvrage et de son environnement ..	13
3.4.1 Description de l'ouvrage	13
3.4.2 Description de l'environnement.....	16
3.4.3 Système de Gestion de la Sécurité (SGS).....	18
3.4.4 Organisation interne de surveillance et de maintenance	18
3.5 Etude accidentologique et retour d'expérience.....	19
3.6 Potentiels de dangers et découpage en systèmes d'analyse	20
3.7 Analyse de risques	21
3.7.1 Liste des Evènements Redoutés Centraux (ERC) et des Phénomènes Dangereux (PhD)	22
3.7.2 Evènements initiateurs (internes / externes).....	22
3.7.3 Définition des tronçons homogènes et représentation cartographique	23
3.7.4 Exemple d'identification de séquences accidentelles	24
3.8 Evaluation des risques : caractérisation des accidents associés aux phénomènes dangereux.....	25
3.8.1 Intensité des effets des phénomènes dangereux.....	28
3.8.2 Cinétique des effets des phénomènes dangereux	28
3.8.3 Gravité des conséquences des accidents associés aux phénomènes dangereux.....	28
3.8.4 Caractérisation des phénomènes dangereux en probabilité	30
3.8.5 Prise en compte des barrières de sécurité.....	33
3.8.6 Caractérisation des accidents majeurs	33
3.9 Etude de réduction des risques	34
4. LISTE DES ANNEXES	35

Table des tableaux

Tableau 1 : Exemple de tableau à utiliser pour présenter les ERC et Phénomènes Dangereux (PhD) génériques associés à l'aménagement étudié.....	22
Tableau 2 : Exemple de grille d'évaluation de la gravité des conséquences.....	29
Tableau 3 : Echelle indicative de probabilité réglementaire	30
Tableau 4 : Exemple de grille de criticité « Probabilité d'occurrence annuelle / Gravité des conséquences »	34

Table des figures

Figure 1 : Tableau indicatif des faiblesses potentielles caractéristiques par type de conduite, Source : Guide « Sécurité des conduites forcées principales et matériels annexes, BETCGB, 2009 ».....	21
Figure 2 : Illustration de carte de tronçons homogènes d'une conduite forcée.....	23
Figure 3 : Diagramme récapitulatif des phénomènes dangereux potentiellement engendrés par la rupture d'une conduite forcée aérienne	26
Figure 4 : Diagramme récapitulatif des phénomènes dangereux potentiellement engendrés par la rupture d'une conduite forcée souterraine.....	27
Figure 5 : Exemple de courbe enveloppe des effets de projection, d'écoulement avec transport solide et de montée des eaux pour un tronçon T	29
Figure 6 : Exemple de nœud papillon théorique	31

ABREVIATIONS UTILISEES

AM	Accident Majeur
AMDEC	Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité
APR	Analyse Préliminaire de Risques
ARIA	Analyse, Recherche et Information sur les Accidents
BETCGB	Bureau d'Etudes Techniques et de Contrôle des Grands Barrages
CE	Code de l'Environnement
CF	Conduite Forcée
CSE	Consigne de Surveillance d'Exploitation
DREAL	Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
GT	Groupe de Travail
EDD	Etude de dangers
EDF	Electricité de France
ERC	Evènement Redouté Central
ERP	Etablissement Recevant du Public
EI	Evènement Initiateur
HAZOP	HAZard and OPerability
IC	Installation(s) Classée(s)
INERIS	Institut National de l'EnviRonnement Industriel et des risques
MEDDE	Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie
MMR	Mesure de Maîtrise des Risques
PACA	Provence-Alpes-Cote d'Azur
PhD	Phénomène Dangereux
POA	Probabilité d'Occurrence Annuelle
PPRT	Plan de Prévention des Risques Technologiques
REX	Retour d'Expérience
RNT	Résumé Non Technique
SHEM	Société Hydro Electrique du Midi
STEEGBH	Service Technique de l'Énergie Électrique et des Grands Barrages et de l'Hydraulique

1. INTRODUCTION

1.1 GENERALITES

Le présent référentiel propose une méthodologie pour la réalisation d'une étude de dangers relative aux conduites forcées principales et matériels annexes.

Une conduite forcée (CF) est définie comme « une canalisation sous pression servant d'amenée d'eau pour alimenter les turbines d'un aménagement hydroélectrique. De ce fait, elle assure la jonction entre l'extrémité aval des ouvrages d'amenée et l'usine ». Sont également concernés par ce guide méthodologique, tous les dispositifs annexes associés aux conduites forcées dans le but de garantir leur sécurité (capteurs et actionneurs de sécurité) ainsi que les conduites annexes connectées.

Ce référentiel est établi sur la base du « Guide de sécurité des conduites forcées principales et des matériels annexes » élaboré en 2009 par le Service Technique de l'Énergie Électrique et des Grands Barrages et de l'Hydraulique (STEEGBH) du Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie (MEDDE).

1.2 CONTEXTE

La réglementation française demande depuis 2007¹ aux exploitants de certains ouvrages hydrauliques – barrages (classe A et B) et digues (classe A, B et C) - de réaliser des études de dangers (EDD) sur leurs installations et de démontrer leur maîtrise des risques.

A l'avenir, certaines conduites forcées pourraient réglementairement faire l'objet d'une étude de dangers, de la même manière que les ouvrages hydrauliques.

L'obligation pour les responsables d'ouvrage d'établir une étude de dangers pour les conduites forcées s'appliquerait aux ouvrages pour lesquels $H.D \geq 700$, où H représente la hauteur de chute brute et D le diamètre de la conduite, exprimés en mètres. La périodicité maximale retenue pour l'actualisation des études de dangers serait fixée à 10 ans.

Ce guide méthodologique a donc été établi et rédigé par l'INERIS sur la base des réflexions d'un groupe de travail, comprenant des représentants du groupe de travail sectoriel « Conduites forcées », piloté par le BETCGB et réunissant les représentants des organisations suivantes :

- le BETCGB (Bureau d'Etudes Techniques et de Contrôle des Grands Barrages) ;
- les DREAL Limousin, PACA, Midi-Pyrénées et Rhône-Alpes ;
- la société SHEM (Société HydroElectrique du Midi) ;
- la société EDF (Electricité de France) ;
- l'INERIS (Institut National de l'EnviRonnement Industriel et des risques).

¹ Décret n° 2007-1735 du 11/12/07 relatif à la sécurité des ouvrages hydrauliques et au comité technique permanent des barrages et des ouvrages hydrauliques et modifiant le code de l'environnement

Ce référentiel reprend une architecture et une philosophie proches de celui rédigé pour les barrages et pourra être une base de réflexion pour une éventuelle réglementation.

Il est structuré selon les rubriques d'une étude de dangers et ne traite pas des missions d'inspection ni de l'entretien des ouvrages. Un glossaire technique, rappelant un certain nombre de définitions importantes, est présenté au chapitre 2.

Le guide méthodologique comporte notamment en annexe un diagramme de type nœud papillon (NP) « rupture de conduite aérienne » qui vise, à titre d'exemple, à permettre la compréhension du raisonnement employé. Cet exemple ne prétend aucunement à l'exhaustivité (il ne comporte pas les barrières de sécurité, ni les classes de probabilité ...) et ne prétend pas non plus à être mis en œuvre de manière systématique dans les éventuelles études de dangers qui pourraient être produites.

2. GLOSSAIRE TECHNIQUE²

Terme	Définition
Accident	Evénement non désiré résultant de développements incontrôlés survenus au cours de l'exploitation d'un établissement / d'une installation qui entraîne des conséquences / dommages vis-à-vis des personnes, des biens ou de l'environnement et de l'entreprise en général. C'est la réalisation d'un phénomène dangereux, combinée à la présence de cibles vulnérables exposées aux effets de ce phénomène.
Cinétique	Vitesse d'enchaînement des événements constituant une séquence accidentelle, de l'événement initiateur à la réalisation du phénomène dangereux (cinétique pré-accidentelle) et de la réalisation du phénomène dangereux à l'atteinte aux cibles (cinétique post-accidentelle).
Conduite forcée (CF)	une canalisation sous pression servant d'amenée d'eau pour alimenter les turbines d'un aménagement hydroélectrique. De ce fait, elle assure la jonction entre l'extrémité aval des ouvrages d'amenée et l'usine
Effets d'un phénomène dangereux	Ce terme décrit les caractéristiques des phénomènes physiques associés à un phénomène dangereux concerné.
Efficacité (pour une MMR)	Capacité à remplir une fonction de sécurité qui lui est confiée pendant une durée donnée et dans son contexte d'utilisation. Cette capacité s'exprime en pourcentage d'accomplissement de la fonction définie et peut varier au cours de la durée de sollicitation de la MMR. Cette efficacité est évaluée par rapport aux principes de dimensionnement adapté et de résistance aux contraintes spécifiques.
Eléments (ou enjeux) vulnérables	Eléments tels que les personnes, les biens ou les différentes composantes de l'environnement susceptibles, du fait de l'exposition au danger, de subir en certaines circonstances, des dommages. Le terme de « cible » est également parfois employé.
Evénement initiateur (EI)	Evénement, courant ou anormal, interne ou externe au système, situé en amont de l'ERC dans l'enchaînement causal et qui constitue une cause directe dans les cas simples ou une combinaison d'événements à l'origine de cette cause directe. Dans la représentation en « nœud papillon » (ou arbre des causes), cet événement est représenté à l'extrémité gauche.
Evénement central (ERC) redouté	Evénement conventionnellement défini, dans le cadre d'une analyse de risque, au centre de l'enchaînement accidentel. Généralement, il s'agit d'une perte de confinement. Les événements situés en amont sont conventionnellement appelés « phase pré-accidentelle » et les événements situés en aval « phase post-accidentelle »
Fonction de sécurité	Fonction ayant pour but la réduction de la probabilité d'occurrence et / ou des effets des conséquences d'un événement non souhaité dans un système. Les principales actions assurées par les fonctions de sécurité en matière d'accidents majeurs sont : empêcher, éviter, détecter, contrôler, limiter. Les fonctions de sécurité identifiées peuvent être assurées à partir d'éléments techniques de sécurité, de procédures organisationnelles ou par la combinaison des deux.

² Sources : « Circulaire du 10 mai 2010 récapitulant les règles méthodologiques applicables aux études de dangers, à l'appréciation de la démarche de réduction du risque à la source et aux plans de prévention des risques technologiques (PPRT) dans les installations classées en application de la loi du 30 juillet 2003 » et travaux du Groupe de Travail « Conduites Forcées ».

Terme	Définition
Gravité	On distingue l'intensité des effets d'un phénomène dangereux de la gravité des conséquences découlant de l'exposition de cibles de vulnérabilités données à ces effets. La gravité des conséquences potentielles d'un accident résulte de la combinaison en un point de l'espace de l'intensité des effets d'un phénomène dangereux et de la vulnérabilité des cibles potentiellement exposées.
Indépendance (d'une MMR)	Faculté d'une MMR, de par sa conception, son exploitation et son environnement, à ne pas dépendre du fonctionnement d'autres éléments et notamment, d'une part d'autres MMR et d'autre part, du système de conduite de l'installation, afin d'éviter les modes communs de défaillance ou de limiter leur fréquence d'occurrence.
Temps de réponse (pour une MMR)	Intervalle de temps requis entre la sollicitation et l'exécution de la fonction de sécurité. Ce temps est inclus dans la cinétique de mise en œuvre d'une fonction de sécurité. Celle-ci devant être en adéquation avec la cinétique du phénomène qu'elle maîtrise.
Mesure de maîtrise des risques (MMR) ou barrière de sécurité	Ensemble d'éléments techniques et / ou organisationnels nécessaires et suffisants pour assurer une fonction de sécurité.
Niveau de confiance (pour une MMR)	Architecture et classe de probabilité (inspirées des normes NF EN 61-508 et CEI 61-511) pour qu'une MMR, dans son environnement d'utilisation, assure la fonction de sécurité pour laquelle elle a été choisie. Cette classe de probabilité est déterminée pour une efficacité et un temps de réponse donnés. Ce niveau peut être déterminé suivant les normes NF EN 61-508 et CEI 61-511 pour les systèmes instrumentés de sécurité. (cf rapport INERIS Ω10).
Phénomène dangereux (PhD)	Libération d'énergie ou de substance produisant des effets, au sens de l'arrêté du 29/09/2005, susceptibles d'infliger des dommages à des cibles (ou éléments vulnérables) vivantes, matérielles, sans préjuger de l'existence de ces dernières.
Probabilité d'occurrence (POA)	Au sens de l'Art. L512-1 du Code de l'environnement, la probabilité d'occurrence d'un accident est assimilée à sa fréquence d'occurrence future estimée sur l'installation considérée. Elle est en général différente de la fréquence historique et peut s'écarter, pour une installation donnée, de la probabilité d'occurrence moyenne évaluée sur un ensemble d'installations similaires.
Vulnérabilité	La vulnérabilité d'une cible à un effet est le facteur de proportionnalité entre les effets auxquels est exposé un élément vulnérable et les dommages qu'il subit.

3. GUIDE METHODOLOGIQUE POUR LA RÉDACTION D'UNE ÉTUDE DE DANGERS D'UNE CONDUITE FORCÉE ET DE SES MATÉRIELS DE SÉCURITÉ ANNEXES

Les conduites forcées ne sont pas encore encadrées par des textes réglementaires concernant l'établissement d'une étude de dangers. On peut cependant se reporter aux textes relatifs aux ouvrages hydrauliques (barrages et digues) ainsi qu'à ceux relatifs aux installations classées (IC) pour une meilleure définition de l'étude de dangers.

L'étude de dangers est un document précisant le niveau de risque auquel l'installation peut exposer directement ou indirectement des enjeux (humains ou matériels) présents dans son environnement en cas d'accident. Les conséquences d'un éventuel accident sur les enjeux environnementaux ne sont pas traitées dans ce guide méthodologique.

L'eau sous pression constitue cependant un potentiel de danger à part entière.

Il s'agit alors d'étudier les causes et les conséquences d'une perte de confinement. L'étude permet également à l'exploitant de démontrer que le niveau de risques sur son installation est aussi bas que possible, compte tenu de l'état des connaissances et des pratiques et de la vulnérabilité de l'environnement de l'installation.

L'étude de dangers est structurée autour de l'étape d'analyse de risques et suit les rubriques ci-dessous :

- Résumé non technique (§3.1),
- Renseignement administratifs (§3.2),
- Définition du périmètre d'étude (§3.3),
- Description et analyse fonctionnelle de l'ouvrage et de son environnement (§3.4),
- Analyse de risques (§3.5 à 3.7),
- Évaluation des risques et qualification des effets des phénomènes dangereux en intensité et en cinétique et des accidents en probabilité d'occurrence annuelle et en gravité des conséquences (§3.8),
- Étude de réduction des risques (§3.9).

Ces rubriques sont reprises et détaillées dans les parties suivantes.

3.1 RESUME NON TECHNIQUE (RNT)

Le résumé non technique a pour objectif de présenter une synthèse de l'étude de dangers sous une forme didactique. Il est destiné à favoriser la communication des résultats de l'étude à des personnes non spécialistes en leur permettant une appréciation convenable des enjeux et des résultats de l'étude.

La situation actuelle de l'ouvrage, les résultats de l'analyse de risques ainsi que les principales mesures existantes ou proposées pour réduire le risque à la source y sont utilement présentées. Ces dernières peuvent faire l'objet d'un calendrier précisant leurs délais d'installation dont il serait pertinent d'expliquer l'adéquation aux enjeux de sûreté.

Le résumé non technique est une synthèse de l'étude de dangers. Il est généralement réalisé en fin de rédaction de l'étude, il reprend et explicite les mots techniques employés, présente les installations, l'environnement, la démarche menée et les résultats obtenus. Le résumé peut être illustré de schémas explicatifs et d'éléments cartographiques pour une meilleure communication et une meilleure compréhension.

3.2 RENSEIGNEMENTS ADMINISTRATIFS

Cette rubrique contient l'identification du concessionnaire ou du propriétaire de l'ouvrage, et s'il est différent, de l'exploitant. Les références de l'autorisation ou de la concession sont clairement explicitées.

L'identification des rédacteurs et des organismes ayant participé à l'étude est également indiquée. Les renseignements portent également sur le classement, sur les éventuelles servitudes d'urbanisme (conduite enterrée) ou conventions d'exploitation avec des tiers, etc.

Cette rubrique explicite également le classement de la conduite forcée et les conditions réglementaires auxquelles répond l'étude de dangers.

Elle précise s'il s'agit d'une étude de dangers initiale portant sur un ouvrage neuf ou existant, d'une EDD nécessitée par une modification d'ouvrage ou d'une révision périodique d'une EDD existante.

3.3 DEFINITION DU PERIMETRE D'ETUDE

Le périmètre de l'étude de dangers est déterminé dans cette rubrique. Il est accompagné d'une carte de situation de l'ouvrage.

Ce périmètre d'étude porte a minima sur l'ensemble de la conduite et des organes depuis la vanne de tête (de la conduite) jusqu'aux turbines. La vanne et les éventuelles dérivations au droit de la vanne sont intégrées dans cette définition. Sont également inclus les déchargeurs et les soupapes de sécurité lorsqu'ils existent.

Les organes annexes situés en amont de la conduite seront considérés comme des agresseurs externes.

Par ailleurs, à titre d'exemple, une cheminée d'équilibre située en aval de la vanne de tête sera considérée dans le cadre des risques d'exploitation. Sa défaillance (ex : rupture..) sera considérée en tant qu'agresseur externe sur la conduite.

Les limites de l'étude, c'est-à-dire tout ce qui n'est pas cité et intégré dans la précédente définition (ex : centrale hydroélectrique, autres ouvrages à proximité - pont, barrage, remblais, etc.) peuvent également être détaillées, au besoin. Si certains éléments sont exclus, ils pourront, du fait de leur importance pour la sécurité, être intégrés à l'analyse de risques, soit en tant qu'agresseur potentiel, soit dans l'analyse des conséquences d'une défaillance de la conduite, en tant que cible potentielle.

Par ailleurs, cette rubrique fait apparaître en tant que de besoin l'articulation de l'étude de dangers avec les autres démarches réglementaires qui concernent directement ou indirectement la conduite (EDD portant sur les autres ouvrages de la concession ou autorisés...).

3.4 DESCRIPTION ET ANALYSE FONCTIONNELLE DE L'OUVRAGE ET DE SON ENVIRONNEMENT

3.4.1 DESCRIPTION DE L'OUVRAGE

La référence exacte de la conduite forcée est précisée afin de permettre une identification formelle.

L'ensemble des installations comprises dans le périmètre d'étude est décrit dans cette partie.

3.4.1.1 LES DEUX GRANDS TYPES DE TRONÇONS DE CONDUITES FORCÉES

On distingue deux types tronçons de conduites forcées :

- les conduites bloquées au terrain dont l'ensemble des équipements est encastré au rocher ;
- les conduites non bloquées au terrain, qui, par complémentarité, rassemble les conduites aériennes, remblayées ou libres dans une galerie.

Par convention, dans le présent guide, les premières seront dites « souterraines », les secondes « aériennes ».

Il conviendra dans un premier temps de qualifier l'ouvrage ou les tronçons d'ouvrages selon cette typologie.

On considère l'installation selon deux parties : la conduite forcée en elle-même et les équipements et les organes annexes.

Au-delà de la description des organes de l'ouvrage, cette étape est destinée à établir les relations fonctionnelles entre les éléments du système en vue de l'analyse de risques. L'objectif est donc de disposer d'une description suffisante des différentes installations et de leur fonctionnement pour les différentes phases d'exploitation en régime établi ou transitoire (démarrage, arrêt), les phases dégradées (défauts de fonctionnement) ou particulières (mise hors gel, ...), les périodes de maintenance (vidange, remplissage).

Il s'agit ainsi de décrire :

- la conduite forcée principale,
- les conduites annexes et les piquages,
- les ancrages et les appuis de la conduite,
- les dispositifs de sécurité,
- les accessoires et les installations annexes,
- les sources auxiliaires d'électricité et le contrôle commande.

3.4.1.2 DESCRIPTION DE LA CONDUITE FORCEE PRINCIPALE

La description de la conduite forcée inclut les éléments suivants :

- Tracé et accès,
- Hypothèses de conception dont en particulier la pression statique en service et la pression maximale instantanée supportées par la conduite,
- Historique et principales interventions (réparations, modifications) sur le projet depuis son origine,
- Pression statique en service et pression maximale instantanée de service supportées par la conduite,
- Identification de tronçons selon le type d'installation :
 - aérienne : en extérieur ou en galerie,
 - souterraine : en tranchée remblayée ou bloquée au rocher,
 - en siphon,
 - sur un pont, etc.
- Matériaux et type de construction en précisant les caractéristiques mécaniques pertinentes telles que limite élastique, limite à la rupture, les normes de référence (si elles existent) et si possible une « équivalence » dans le référentiel moderne,
- Protections intérieure et extérieure : nature et entretien des revêtements, protection cathodique éventuelle,
- Types d'assemblages rencontrés et leur dimensionnement,
- Présence d'éléments particuliers : trous d'homme, bifurcations, manchettes, culottes de jonction, ainsi que toutes les singularités susceptibles d'être prises en compte dans l'analyse de risques.

3.4.1.3 DESCRIPTION DES CONDUITES ANNEXES ET PIQUAGES

La description des conduites annexes et des piquages inclut les éléments suivants :

- Tracé et accès,
- Positionnement des piquages,
- Hypothèses de conception (dont les cas de charge) et justification du dimensionnement des conduites annexes,
- Historique et intervenants sur le projet depuis leur origine,
- Pression statique en service et pression maximale instantanée de service supportées par la conduite,

- Matériaux et type de construction en précisant les caractéristiques mécaniques, les normes utilisées à l'époque et établir éventuellement une analyse critique par rapport aux normes actuelles,
- Protections intérieure et extérieure : nature et entretien des revêtements, protection cathodique éventuelle,
- Types d'assemblages rencontrés et leur dimensionnement,
- Présence d'éléments particuliers : trous d'homme, bifurcations, manchettes, culottes de jonction, ainsi que toutes les singularités susceptibles d'être prises en compte dans l'analyse de risques,
- Caractéristiques des piquages.

3.4.1.4 DESCRIPTION DES ANCRAGES ET DES APPUIS DE LA CONDUITE

La description des ancrages et des appuis de la conduite inclut les éléments suivants :

- Nature : massifs en béton, cerces ancrées, pilettes, sellettes, ...,
- Fondation : description géologique du site d'implantation de la conduite et caractéristiques mécanique des sols d'appui ou dans lesquels la conduite est encastrée,
- Matériaux : en pierres maçonnées, béton, structures métalliques, ...,
- Fonctionnement mécanique : conditions de liaison (encastrement, appuis simples...) et nature des efforts repris dans les différents cas de charge,
- Hypothèses de dimensionnement.

3.4.1.5 DESCRIPTION DES DISPOSITIFS DE SECURITE

Pour chacun des dispositifs de sécurité, sont décrits le type d'éléments de sectionnement, leur localisation, leur accessibilité, leur fonctionnement et leur interaction avec les autres éléments, leur date de mise en service. Parmi les dispositifs que l'on peut trouver, on note par exemple :

- les organes d'isolement : vanne de tête, type, conception, fonctionnement, énergie de manœuvre, contrôle-commande,
- les systèmes de détection sur la conduite : survitesse d'eau, anomalies de pression, phénomènes vibratoires, capteurs et actionneurs de sécurité et alarmes associés à ces systèmes de détection.

3.4.1.6 DESCRIPTION DES ACCESSOIRES ET INSTALLATIONS ANNEXES

On entend par accessoires et installations annexes les installations ci-dessous (liste non exhaustive) :

- équipements de contrôle de l'injection dans la turbine,
- vannes compensatrices ou « déchargeurs »,
- ventouses ou soupapes d'entrée d'air,
- piquages de conduites annexes, etc.
- cheminées d'équilibre, chambre de mise en charge, ouvrages d'amenée.

Pour chacun de ces accessoires, sont décrits :

- leur fonction,
- leur type de construction,
- leurs matériaux,
- leur âge.

La description de ces différents composants s'appuie sur des plans de situation et de description des installations.

Une visite de terrain permet généralement de vérifier la validité des données et d'appréhender l'état général de la conduite et des différents éléments décrits dans ce chapitre.

3.4.1.7 DESCRIPTION DES DISPOSITIFS D'ALIMENTATION EN ENERGIE, CONTROLE COMMANDE ET MOYENS DE TRANSMISSION

Les dispositifs d'alimentation en énergie et le contrôle-commande ainsi que leurs systèmes de secours seront détaillés dans ce chapitre (électricité..).

Il convient également de préciser le mode de gestion des informations : utilisation des télécoms, report d'information, d'incident, d'état de la conduite.

3.4.2 DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT

La description de l'environnement de l'ouvrage a pour objectif d'apporter des éléments enrichissant l'analyse de risques. Elle porte habituellement sur le ou les versants (sur lesquels repose la conduite) limités par la ou les lignes de crêtes et la ou les lignes de talweg.

Elle est en général limitée à l'aval par le point de restitution de l'installation hydroélectrique dans un cours d'eau.

Plus qu'une description, il s'agit ici de caractériser et de localiser les enjeux ou éléments vulnérables présents autour - et principalement en aval - de la conduite : populations, habitations, infrastructures, zones touristiques, routes, voies ferrées, cours d'eau, etc. qui pourraient subir les effets d'un accident.

Il est également nécessaire de caractériser les éléments de l'environnement – notamment en amont – pouvant être des agresseurs potentiels pour la conduite principale en faisant figurer dans l'étude les données utilisées. Le cas échéant, on pourra se reporter aux conclusions de certaines études spécifiques (études sismiques, études géologiques, études topographiques, etc.).

L'environnement de l'ouvrage comprend les éléments naturels et les éléments « humains » : personnes, habitations, activités, infrastructures.

Dans la liste suivante, sont désignés *en italique les enjeux vulnérables en cas d'accident* survenant sur la conduite et en souligné les agresseurs potentiels.

Environnement naturel

- le versant sur lequel est située la conduite, aussi bien en amont qu'en aval :
 - morphologie ;
 - géologie ;
 - superficie ;
 - pentes ;
 - cours d'eau ;
 - type de couverture (nature de la végétation, etc.).
- les terrains qui surplombent directement et sont traversés par l'ouvrage pouvant être au départ de glissements, éboulements, des séismes etc. ainsi que l'éventuelle présence d'aménagements ou de suivis particuliers destinés à limiter ces aléas (suivi de l'évolution des terrains, paravalanche, etc.) ;
- la végétation autour de la conduite et l'état d'entretien ;
- la climatologie du site traversé par la conduite nécessaire à l'analyse de risques (gel, précipitations, vent, foudre, neige, crues et les éventuels couloirs à avalanches situés à proximité) ;

Environnement lié à l'activité humaine autour de la conduite

La description des populations et des activités humaines est menée de façon à permettre d'estimer le niveau de gravité des conséquences des accidents. On notera par exemple :

- les autres ouvrages situés en amont de la conduite pouvant présenter un risque d'agression : barrage, autres conduites, etc.
- le passage de route en amont ou à proximité de la conduite ;
- la présence d'activité d'exploitation à proximité de la conduite (chantiers forestiers, touristiques, etc.) ;
- la présence d'installations industrielles à risque à proximité de la conduite ;
- *les autres installations situées en aval pouvant être affectées par une rupture : usine hydroélectrique, digues de protection fluviale, etc.*
- *les habitations* ;
- *les Etablissements Recevant du Public (ERP) et leur catégorie* ;
- *les activités : industries, commerces, tourisme, établissements soumis à une législation ou réglementation particulière, etc.³* ;
- *les infrastructures (énergie, transport, communication..) diverses situées tant en amont qu'en aval de la conduite qui peuvent être affectés en cas de rupture de la conduite.*

Les enjeux potentiellement vulnérables sont étudiés lors de l'évaluation de la gravité des conséquences d'un accident (cf. chapitre 3.8.3 du présent guide).

Les agresseurs potentiels sont intégrés dans l'analyse de risques (cf. chapitre 3.7 du présent guide).

³ Faire référence aux conventions d'exploitation à proximité de l'ouvrage si elles existent

3.4.3 SYSTEME DE GESTION DE LA SECURITE (SGS)

En s'appuyant sur la description de l'organisation mise en place pour assurer l'exploitation et la surveillance de l'ouvrage, cette rubrique présente la politique de prévention des accidents majeurs mise en place par le responsable de l'ouvrage, ainsi que le système de gestion de la sécurité qui en découle, au moment de l'établissement de l'étude de dangers :

- l'organisation de ce responsable et des éventuelles autres entités impliquées pour ce qui concerne les aspects liés à la sécurité (y compris les relations contractuelles pouvant lier le propriétaire et l'exploitant en termes de gestion de la sécurité...), en décrivant les fonctions des personnels aux différents niveaux hiérarchiques,
- la définition des principales procédures qui encadrent l'identification et l'évaluation des risques d'accidents majeurs, la surveillance de l'ouvrage en toutes circonstances, la gestion des situations d'urgence et la gestion du retour d'expérience,
- les dispositions prises par le responsable pour s'assurer en permanence du respect des procédures, auditer et réviser son système de gestion de la sécurité dans le cadre de son amélioration continue.

3.4.4 ORGANISATION INTERNE DE SURVEILLANCE ET DE MAINTENANCE

Lorsqu'une Consigne de Surveillance et d'Exploitation (CSE) est mise en place par l'exploitant, celle-ci fait l'objet d'une synthèse dans l'étude de dangers qui présente :

- la conduite à tenir en cas d'incidents ou d'événements exceptionnels ;
- les modalités des visites de surveillance ;
- les contrôles et les essais de l'installation, en particulier des organes de sécurité ;
- les modalités générales de l'examen technique complet de l'installation.

Il ne s'agit pas de reprendre entièrement la CSE mais d'en expliquer les principaux points.

Sont également précisées dans cette rubrique :

- l'organisation de l'exploitation de l'ouvrage et des éventuelles autres entités impliquées pour ce qui concerne les aspects liés à la sécurité (y compris les relations contractuelles pouvant lier le propriétaire et l'exploitant en termes de gestion de la sécurité...), en décrivant les fonctions des personnels aux différents niveaux hiérarchiques ;
- la liste des principales procédures et consignes qui encadrent l'identification et l'évaluation des risques d'accidents majeurs, la surveillance de l'ouvrage en toutes circonstances, la gestion des situations d'urgence et la gestion du retour d'expérience ;
- les dispositions prises pour s'assurer en permanence du respect des procédures, auditer et réviser son organisation de la sécurité dans le cadre de son amélioration continue.

Le chapitre fait référence au plan de maintenance mis en place par l'exploitant pour assurer le suivi de la conduite, de ses accessoires et des installations annexes mais également de l'environnement naturel de la conduite. Une attention particulière est portée aux points suivants :

- moyens de protection contre la corrosion et renouvellement des revêtements de la conduite,
- entretien des abords de la conduite forcée, notamment par rapport à la végétation mais également ouvrages de protection contre les avalanches ou les mouvements de terrain,
- entretien des dispositifs de sécurité (y compris les vannes de sectionnement) et des installations annexes.

3.5 ETUDE ACCIDENTOLOGIQUE ET RETOUR D'EXPERIENCE

Le retour d'expérience (REX), qu'il soit acquis au cours de l'exploitation de l'ouvrage (en interne) ou qu'il provienne de la littérature concernant des ouvrages similaires (en externe) est une étape fondamentale dans la réalisation d'une étude de dangers. Il permet de collecter des informations techniques tant sur le bon fonctionnement ou la défaillance de certains dispositifs techniques, mais aussi de connaître les incidents ou accidents survenus ou évités afin d'en tirer les enseignements.

L'analyse du retour d'expérience permet :

- d'identifier, a priori, les causes de défaillance susceptibles de survenir sur l'ouvrage à partir des accidents déjà survenus sur la conduite forcée étudiée ou sur des installations comparables. Les retours d'expérience interne et externe sont donc complémentaires. Cette étape permet de mettre en avant, en fonction des données disponibles :
 - o les accidents observés de façon récurrente la conduite en question ou sur ce type d'installation,
 - o les causes de défaillance les plus fréquentes, donnant ainsi une base de travail primordiale pour l'analyse de risque et la quantification probabiliste des événements,
 - o l'importance de leurs conséquences,
- de donner des renseignements sur l'efficacité et les performances des barrières de sécurité.

Le retour d'expérience tient compte du mode de construction de la conduite forcée étudiée. Il intègre également l'évolution des conditions d'exploitation sur la conduite.

Il ne se limite pas à une liste des incidents connus et des actions de maintenance mis en œuvre régulièrement sur l'ouvrage.

Ce chapitre fait l'objet d'une réelle analyse, en se penchant notamment sur les moyens mis en place ou à mettre en place par l'exploitant pour prévenir les éventuels accidents similaires observés dans l'étude accidentologique.

Il se penche en particulier sur l'analyse des incidents / accidents déjà rencontrés sur la conduite et sur les mesures mises en place par l'exploitant pour éviter leur occurrence. Ces événements sont analysés en regard des conséquences potentielles maximales qu'ils auraient pu générer et non pas simplement en regard de celles effectivement observées.

Signalons, à titre indicatif, qu'il n'existe pas de base de données propre aux conduites forcées en France⁴. En revanche, plusieurs articles relatent des événements et peuvent servir de base à un travail d'accidentologie.

Le lecteur pourra, entre autres, se référencer aux accidents détaillés en annexe du guide « Sécurité des conduites forcées principales et des matériels annexes » (DGPR, septembre 2009).

3.6 POTENTIELS DE DANGERS ET DECOUPAGE EN SYSTEMES D'ANALYSE

Sur la base de la bonne connaissance de l'ensemble des installations et de la description réalisée dans la première partie de l'étude de dangers, un premier travail consiste à identifier les potentiels de dangers de la conduite forcée.

Contrairement aux installations industrielles « classiques », les conduites forcées ne transportent pas de produit dangereux. L'eau sous pression constitue cependant un potentiel de danger à part entière.

Afin de préparer le travail d'analyse de risques, la conduite est, dans un premier temps, découpée en sous-systèmes.

On identifie alors des ensembles de même nature et de même fonction :

- conduite forcée aérienne / souterraine ;
- organes de sectionnement ;
- ouvrages et installations annexes.

Concernant le sous-ensemble « conduite », les paramètres suivants seront également pris en compte :

- nature de la conduite (aérienne, remblayée, souterraine, etc.) ;
- nature et âge des matériaux.

On souligne que selon la nature et l'âge des matériaux, certaines fragilités peuvent apparaître. Elles sont détaillées dans le tableau ci-après.

⁴ Quelques incidents sont disponibles sur le site de l'université de Stanford, CA (USA) dans le cadre du "National Performance of Dams Program" (<http://npdp.stanford.edu/>)

Types de conduites			Risque et fragilités potentielles
Conduites aériennes (Coudes bloqués - sans joint) (coudes libres - déformations reprises par des joints)	Conduites rivetées (avant 1930)		Risques d'affaiblissement au niveau de chaque rivet : phénomène de "déboutonnage"
	Conduites soudées par forgeage (soudures dites au gaz à l'eau)		Possibilité de fragilité au niveau des soudures
	Conduites frettées (entre 1930 et 1960)	Fretees par cerces massives	Corrosion sous contrainte En cas de rupture de frette : diminution du coefficient de sécurité Risque de rupture fragile (si résilience de l'acier est faible à basse température)
		Fretees par câbles circulaires (ou estropes) 1942 - 1952	Affaiblissement progressif des câbles sous l'effet d'une corrosion interne ou externe entraînant la rupture de brins.
		Fretees par câbles enroulés hélicoïdalement (éliminées du parc EDF)	En cas de rupture de frette : desserrage d'un très grand nombre de spires
	Conduites mécano-soudées (dès 1930)	Avant 1960	Défauts structurels possibles au niveau des soudures
Conduites enterrées	Conduites mécano-soudées	Après fin 1960	Les soudures présenteraient un bon niveau de sécurité.
	Tranchée remblayée		Plus sensibles aux mouvements de terrain que les conduites aériennes
	Bloquées au rocher		Peu sensibles aux mouvements de terrain

Figure 1 : Tableau indicatif des faiblesses potentielles caractéristiques par type de conduite, Source : Guide « Sécurité des conduites forcées principales et matériels annexes, BETCGB, 2009 ».

L'analyse portera également sur la caractérisation et la localisation d'agresseurs externes susceptibles d'être des causes de défaillance potentielles :

- contraintes mécaniques ou thermiques sur les matériaux,
- chocs,
- pertes d'assise, etc.

La localisation des agresseurs potentiels par rapport à la conduite permettra ensuite d'établir une cartographie et d'identifier des tronçons homogènes, étape-clé de l'analyse de risques.

3.7 ANALYSE DE RISQUES

Les méthodes et les outils d'identification de séquences accidentelles sont présentés dans ce chapitre. La mise en œuvre de ces outils en groupe de travail est une pratique recommandée.

Les compétences mobilisées dans le groupe de travail, en termes de fonction (non nominativement) et la méthode utilisée sont précisées.

L'analyse de risques peut utiliser des supports prenant la forme d'un tableau faisant figurer les paramètres importants pour la qualification des séquences accidentelles (ces paramètres sont précisés dans les méthodes HAZOP, AMDEC...) ou bien des représentations arborescentes (arbres de causes, arbres de défaillances, nœuds-papillon). Pour chacune de ces méthodes, sont rappelés les principes, les champs d'application, les avantages et les inconvénients.

Les séquences accidentelles sont identifiées dans le cadre d'une situation de fonctionnement normal de l'installation comme pour les situations transitoires, dégradées, de maintenance / test ou exceptionnelles. Les Evénements Initiateurs (EI) et les Evénements Redoutés Centraux (ERC) peuvent être identifiés et listés dans un tableau appelé « tableau d'analyse de risques », tel qu'il figure dans l'exemple ci-dessous :

<i>Fonctions et/ou emplacements géographiques</i>	<i>Principaux équipements</i>	<i>ERC</i>	<i>PhD</i>	<i>Effets associés</i>
...	...	...	...	...

Tableau 1 : Exemple de tableau à utiliser pour présenter les ERC et Phénomènes Dangereux (PhD) génériques associés à l'aménagement étudié

3.7.1 LISTE DES EVENEMENTS REDOUTES CENTRAUX (ERC) ET DES PHENOMENES DANGEREUX (PHD)

Sur la base des résultats de l'analyse de risques, une liste d'évènements redoutés centraux et des phénomènes dangereux associés qu'il est possible de rencontrer sur la conduite, est établie et ces PhD sont repris dans l'analyse de risques.

A minima, les ERC considérés sont les pertes de confinement.

3.7.2 EVENEMENTS INITIATEURS (INTERNES / EXTERNES)

Les évènements initiateurs ou causes / défaillances, qui conduisent aux évènements redoutés centraux (ERC, dont la perte de confinement), sont décrits dans cette partie, en fonction des systèmes d'analyse préalablement définis.

On distingue :

- les évènements initiateurs internes à l'aménagement (défaillance technique, erreur humaine...),
- les évènements initiateurs externes à l'aménagement :
 - agressions liées aux éléments naturels (conditions météorologiques exceptionnelles ou extrêmes, séisme, inondation, foudre, mouvements de terrain, feu de forêt, avalanche, gel...),
 - agressions liées à l'activité humaine autour du site (voies de communication routières, engins de chantier, activités touristiques, activités industrielles...).

3.7.3 DEFINITION DES TRONÇONS HOMOGENES ET REPRESENTATION CARTOGRAPHIQUE

Le travail d'analyse de risques permet d'identifier des séquences accidentelles. Celles-ci ne s'appliquent pas forcément sur toute la longueur du tracé de la conduite.

Des tronçons homogènes sont identifiés afin de poursuivre le travail d'analyse de risques.

Un **tronçon** est défini par une **longueur continue de l'ouvrage soumise aux mêmes événements initiateurs**. Le découpage de la conduite peut être affiné ou adapté à l'ouvrage et à son environnement (passage d'un versant à un autre...), sous condition d'être justifié.

Une représentation cartographique des causes de défaillances sous forme de tronçons accompagne cette identification pour une bonne visualisation.

L'identification de ces tronçons homogènes sert par la suite à l'évaluation des phénomènes dangereux en termes d'intensité et de cinétique des effets, et des accidents en termes de probabilité d'occurrence annuelle et de gravité des conséquences.

Un exemple de cartographie est présenté ci-dessous :

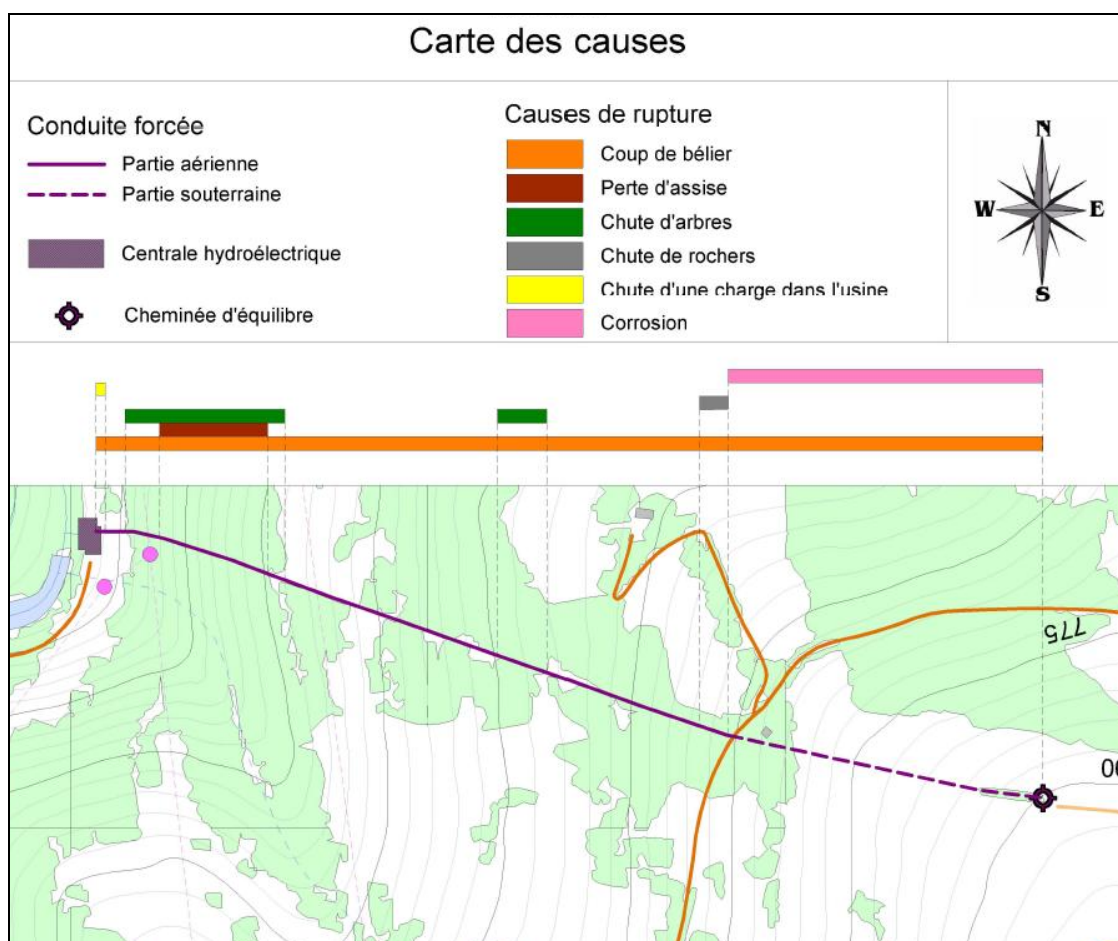


Figure 2 : Illustration de carte de tronçons homogènes d'une conduite forcée

Sur cette carte illustrative, a minima dix tronçons homogènes en termes de causes peuvent être identifiés.

3.7.4 EXEMPLE D'IDENTIFICATION DE SEQUENCES ACCIDENTELLES

Le travail d'identification de séquences accidentelles a fait l'objet d'une réflexion par le groupe de travail, mentionné au §1.2, concernant la **rupture totale d'une conduite forcée aérienne**, selon la dénomination du §3.4.1.1. Il est représenté sous la forme d'exemples **d'arbre de défaillances** disponibles en **Annexe 1** du présent guide.

L'attention du lecteur est attirée sur le caractère partiel et limité de cette analyse. Ces arbres d'analyses ne constituent pas une liste exhaustive et sont adaptés à la configuration de l'aménagement. Chaque branche de l'arbre est suffisante pour conduire à la rupture de la conduite forcée. Elle constitue un **scénario d'accident**.

L'identification et la représentation de ces causes de défaillance sous forme d'arbre de défaillances sont adaptées à l'étude de chaque conduite forcée. Les éléments cités dans le présent rapport permettent de se faire une idée du niveau de détails minimal requis lors d'une étude de dangers.

Est présentée ci-après, pour exemple, une liste non exhaustive de causes de défaillance identifiées par le groupe de travail. Ces causes sont organisées en deux groupes : les défaillances liées à des agressions extérieures sur la conduite et les défaillances liées à des dérives internes.

3.7.4.1 EXEMPLES DE DEFAILLANCES LIEES A DES AGRESSIONS EXTERNES SUR UNE CONDUITE AERIENNE

Le groupe de travail a identifié des exemples de défaillances (agressions externes) possibles :

- Surcharge sur la conduite (charge de terre, engin de chantier ou forestier, formation d'un écoulement avec transport solide à l'amont...) ;
- Choc sur la conduite (chute de charge, de blocs, d'arbre, choc de véhicule, etc.) ;
- Déplacement du génie civil de la conduite (pertes d'assise, mouvement de terrain, séisme, etc.)...

3.7.4.2 EXEMPLES DE DERIVES INTERNES POSSIBLES SUR UNE CONDUITE AERIENNE

Le groupe de travail a identifié deux types de dérives internes possibles :

- Celles liées à une dégradation de l'état de la conduite, par exemple :
 - o Faiblesses initiales de conception ou de réalisation ;
 - o Vieillesse de la tôle, des assemblages ou des renforts ;
 - o Flambement non détecté lors d'une remise en service, etc.
- Celles liées à une situation de surpression dans la conduite :
 - o Suite à des vitesses de manœuvres des organes de coupure inadaptées (fermeture trop rapide de la vanne de pied, de l'injecteur, du distributeur ou du déchargeur) ;
 - o Suite au non-respect d'une instruction de conduite (erreur humaine, dysfonctionnement d'un automate, etc.) ;
 - o Suite à des oscillations des étanchéités mobiles des robinets sphériques,...

3.8 EVALUATION DES RISQUES : CARACTERISATION DES ACCIDENTS ASSOCIES AUX PHENOMENES DANGEREUX

L'analyse générique de la rupture d'une conduite forcée et le retour d'expérience montrent que la libération d'eau sous pression peut engendrer plusieurs phénomènes dangereux en chaîne. Les phénomènes dangereux potentiellement induits sont différents si l'on considère une conduite forcée souterraine ou une conduite aérienne.

Plus précisément, concernant les conduites forcées souterraines, la rupture peut engendrer :

- la déstabilisation du massif rocheux, qui se manifeste par un soulèvement du massif, le basculement d'une paroi, voire un glissement banc sur banc selon la configuration géologique locale ;
- des glissements d'emprise limitée dans la couche superficielle meuble ;
- des écoulements avec transport solide, résultants de l'action érosive de l'eau sur la couche superficielle meuble ;
- une montée du niveau d'eau dans les talwegs, en envisageant la vidange d'une retenue provisoire créée par les écoulements avec transport solide ou les mouvements de terrain associés à la déstabilisation du massif.

D'autre part, concernant les conduites forcées aériennes, la rupture peut engendrer :

- une projection d'eau à forte vitesse et de grande section, après déstructuration locale des remblais s'il s'agit d'une conduite remblayée ;
- des glissements d'emprise limitée dans la couche superficielle meuble ;
- des écoulements avec transport solide, résultants de l'action érosive de l'eau sur la couche superficielle meuble ;
- une montée du niveau d'eau dans les talwegs, en envisageant la vidange d'une retenue provisoire créée par les écoulements avec transport solide.

Selon les configurations géologiques et topographiques du site, ainsi que le débit et la pression de l'eau libérée suite à la rupture, les différents phénomènes dangereux sont envisageables ou au contraire peuvent être écartés de l'analyse.

Deux diagrammes synthétiques sont donnés ci-après pour guider l'analyse dans chaque configuration.

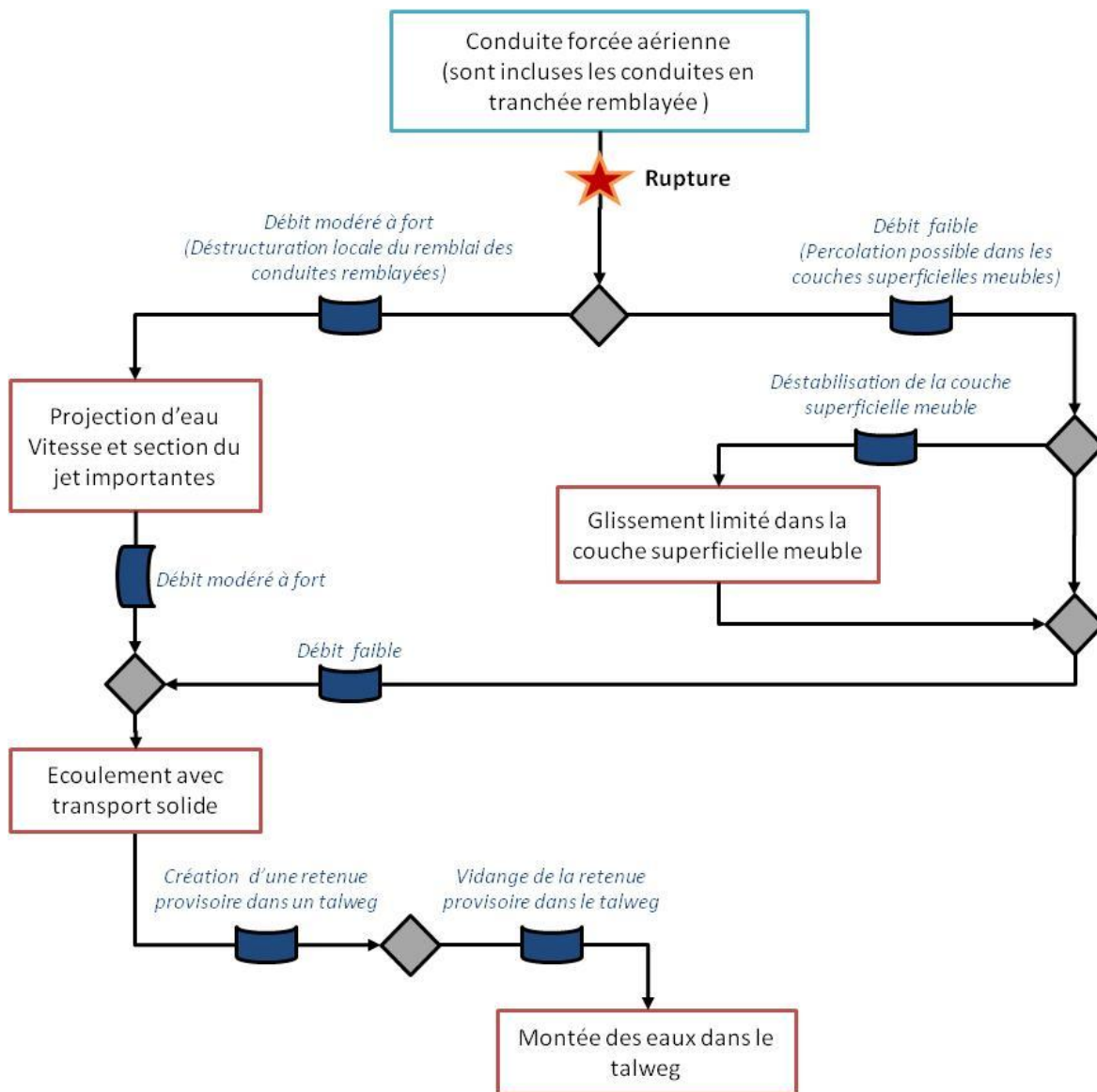


Figure 3 : Diagramme récapitulatif des phénomènes dangereux potentiellement engendrés par la rupture d'une conduite forcée aérienne

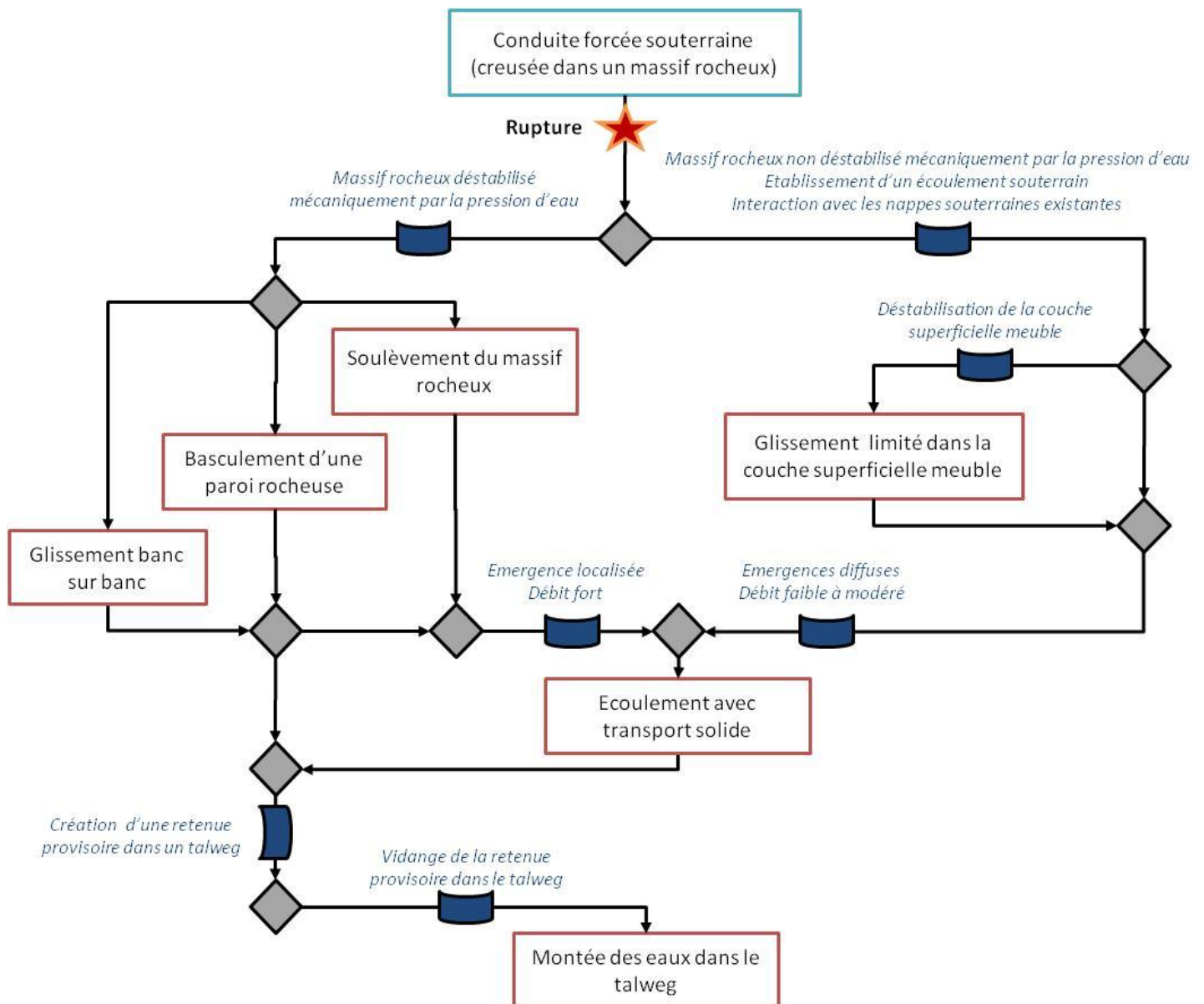


Figure 4 : Diagramme récapitulatif des phénomènes dangereux potentiellement engendrés par la rupture d'une conduite forcée souterraine.

Après avoir sélectionné les phénomènes dangereux envisageables pour chaque tronçon homogène, les effets de chaque phénomène dangereux sont caractérisés en :

- Intensité ;
- Cinétique ;

et chaque accident majeur associé au PhD en :

- Gravité des conséquences ;
- Probabilité d'occurrence annuelle (POA).

Chacune de ces rubriques est détaillée ci-après.

3.8.1 INTENSITE DES EFFETS DES PHENOMENES DANGEREUX

La détermination de l'intensité des effets des phénomènes dangereux nécessite dans tous les cas de prendre en compte la configuration du site et les caractéristiques de l'eau libérée suite à la rupture.

Concernant la configuration du site, il est nécessaire de connaître la géologie et la topographie dans le cas des conduites souterraines. La connaissance de la topographie suffit pour les conduites aériennes.

La méthode utilisée sera justifiée et argumentée.

3.8.2 CINETIQUE DES EFFETS DES PHENOMENES DANGEREUX

Dans cette rubrique, la cinétique des effets de chaque phénomène dangereux est appréciée.

La cinétique post-accidentelle est définie comme « la mise en balance du temps entre la réalisation du phénomène dangereux et la possibilité de mise à l'abri des personnes ».

Si le temps d'atteinte des premiers effets au droit des enjeux est inférieur au temps de mise à l'abri de ces personnes, alors la cinétique du phénomène dangereux est qualifiée de rapide.

Si, en revanche, le temps d'atteinte des premiers effets au droit des enjeux permet de mettre les personnes à l'abri (évaluation de ce temps par les services de secours), alors la cinétique du phénomène dangereux sera qualifiée de lente.

Sauf cas justifié, la cinétique est considérée comme rapide.

3.8.3 GRAVITE DES CONSEQUENCES DES ACCIDENTS ASSOCIES AUX PHENOMENES DANGEREUX

La gravité des conséquences de chaque accident majeur associé à un phénomène dangereux est estimée. Pour cela, il est nécessaire de pouvoir compter aussi simplement que possible, selon des règles forfaitaires, le nombre de tierces personnes exposées (hors personnel liés à l'exploitation de la conduite).

La Circulaire du 10 mai 2010 (MEDDE – *Circulaire du 10 mai 2010 récapitulant les règles méthodologiques applicables aux études de dangers, à l'appréciation de la démarche de réduction des risques à la source et aux plans de prévention des risques technologiques dans les installations classées en application de la loi du 30 juillet 2003 – cf. Annexe 2*) propose dans sa « Fiche 1 : Eléments pour la détermination de la gravité dans les études de dangers », une indication d'une méthode possible pour la détermination de la gravité.

La méthode exposée dans cette fiche peut être utilement utilisée pour les études de dangers de conduites forcées.

Pour chaque accident identifié, la détermination de la gravité porte sur l'emprise enveloppe de tous les effets de cet accident.

Sur l'exemple de carte figurant ci-dessous :

- la courbe avec tirets représente les effets de montée des eaux ;
- la courbe continue représente les effets d'écoulement avec transport solide ;
- la courbe avec croix représente les effets de projection d'eau.

Le comptage des enjeux susceptibles d'être impactés par les effets (et donc la détermination du niveau de gravité équivalent) est réalisé dans la courbe enveloppe de ces trois effets.

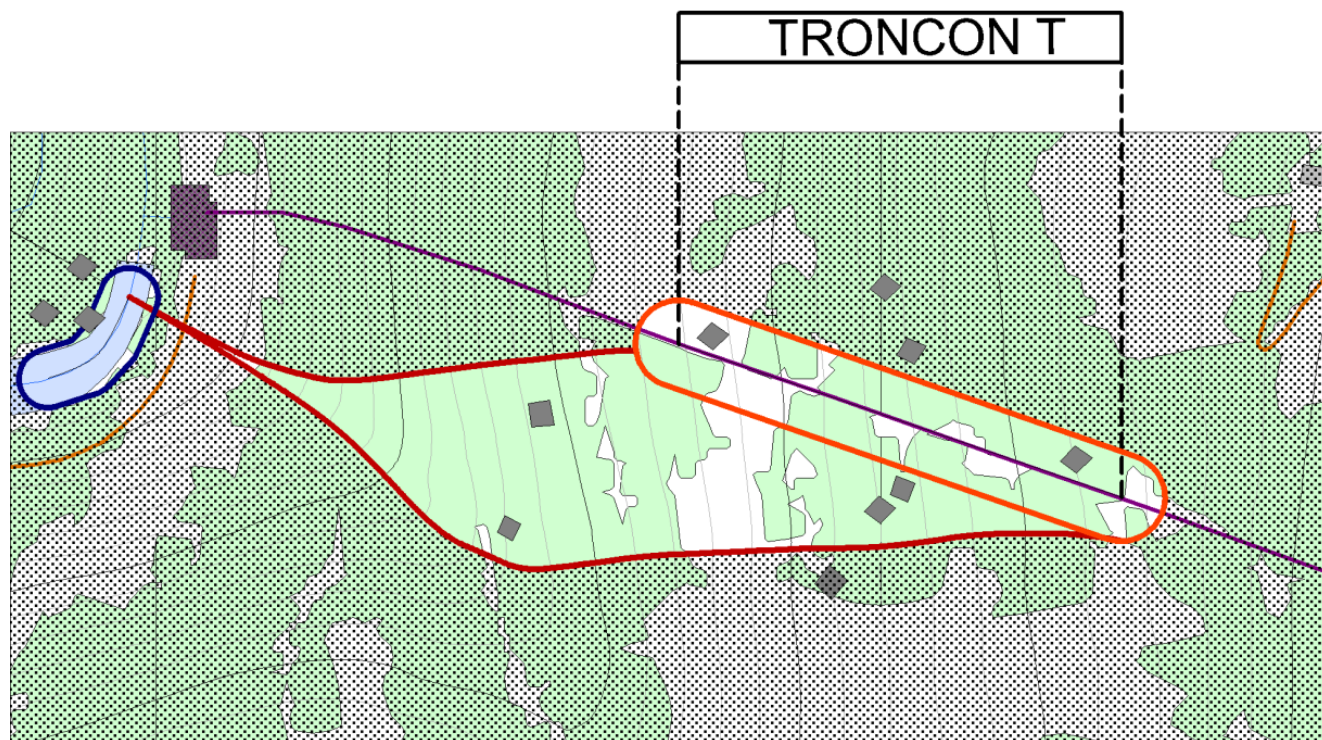


Figure 5 : Exemple de courbe enveloppe des effets de projection, d'écoulement avec transport solide et de montée des eaux pour un tronçon T

La grille de gravité des conséquences susceptible d'être utilisée dans les EDD Conduites Forcées est donnée à titre indicatif ci-dessous. Par souci d'harmonisation, elle reprend celle du guide de lecture des EDD barrages (cf. **Annexe 2**).

Classe de gravité	Nombre de personnes en cinétique rapide	Nombre de personnes en cinétique lente
Niveau 5	≥ 1000	≥ 10000
Niveau 4	≥ 100 et < 1000	≥ 1000 et < 10000
Niveau 3	≥ 10 et < 100	≥ 100 et < 1000
Niveau 2	≥ 1 et < 10	≥ 10 et < 100
Niveau 1		≥ 1 et < 10

Tableau 2 : Exemple de grille d'évaluation de la gravité des conséquences

3.8.4 CARACTERISATION DES PHENOMENES DANGEREUX EN PROBABILITE

3.8.4.1 ÉCHELLE DE PROBABILITE DES ACCIDENTS MAJEURS

Le présent référentiel n'a pas pour objet de donner des valeurs de probabilités génériques mais des références de méthode pouvant être employées pour qualifier la probabilité de rupture d'une conduite forcée.

L'objectif est de pouvoir estimer la probabilité d'occurrence de chaque accident majeur potentiel conformément à l'échelle en 5 classes (A à E). Pour mémoire, une probabilité est une valeur sans dimension qui varie entre 0 et 1. Conformément au cadre réglementaire, la fenêtre d'observation considérée est l'année. Il est nécessaire de préciser ce que l'on recherche, typiquement la *probabilité d'occurrence annuelle* de x, c'est-à-dire la probabilité que x se produise *au moins une fois* dans l'année.

La probabilité annuelle est estimée pour chaque accident majeur. La circulaire « Étude de dangers barrages » donne l'exemple de trois méthodes présentées dans le Tableau 3 ci-dessous, pouvant être reprises dans le cadre des études de dangers conduites forcées.

Echelle de probabilité	E	D	C	B	A
Qualitative (si le REX est suffisant)	« Événement possible mais non rencontré au niveau mondial » : n'est pas impossible au vu des connaissances actuelles	« Événement très improbable » : s'est déjà produit mais a fait l'objet de mesures correctives réduisant significativement la probabilité de ce scénario	« Événement improbable » : un événement similaire déjà rencontré dans le secteur d'activité ou dans ce type d'organisation au niveau mondial, sans que les éventuelles corrections intervenues depuis apportent une garantie de réduction significative de sa probabilité	« Événement probable sur site » : s'est produit et/ou peut se produire pendant la durée de vie des installations	« Événement courant » : se produit sur le site considéré et/ou peut se produire à plusieurs reprises pendant la durée de vie des installations, malgré d'éventuelles mesures correctives
Semi-quantitative	Cette échelle est intermédiaire entre les échelles qualitative et quantitative, et permet de tenir compte de la cotation des mesures de maîtrise des risques mises en place.				
Quantitative (par unité et par an)	10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	10 ⁻³	10 ⁻²	

Tableau 3 : Echelle indicative de probabilité réglementaire

Les méthodes peuvent être classées en trois catégories :

- l'évaluation qualitative qui passe par l'utilisation de qualificatifs du type : « *n'est pas impossible au vu des connaissances actuelles mais non rencontré au niveau mondial sur un très grand nombre d'années installations* ». Le recours à cette méthode nécessite un retour d'expérience représentatif.
- l'évaluation semi-quantitative de la probabilité exprimée par classe.
- l'évaluation quantitative où la fréquence de l'évènement est exprimée en nombre d'occurrences par an.

Le choix de la méthode dépend, dans le cadre des conduites forcées, comme d'ailleurs dans le monde des installations classées, du nombre et de la qualité des données disponibles, et sera argumenté.

Le choix de la méthode semi-quantitative est recommandé.

3.8.4.2 ESTIMATION DE LA PROBABILITE D'OCCURRENCE ANNUELLE (POA) A PARTIR DES NŒUDS-PAPILLON

Afin d'estimer la probabilité des accidents majeurs des conduites forcées, l'INERIS propose une méthode semi-quantitative reposant en partie sur l'utilisation de nœud-papillon.

La représentation des séquences accidentelles sous forme d'un nœud-papillon, tel que représenté ci-dessous permet d'avoir une vision globale des scénarios d'accident en mettant en exergue leurs causes, les liens logiques existant entre elles et les barrières de sécurité ou Mesures de Maîtrise des Risques (MMR).

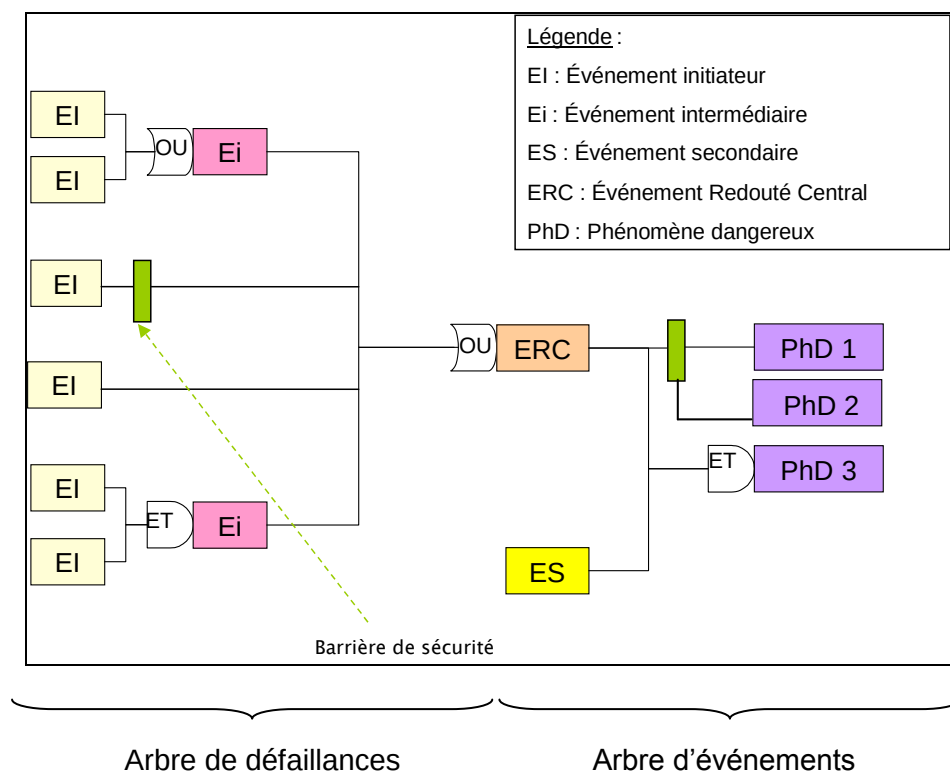


Figure 6 : Exemple de nœud papillon théorique

Les événements initiateurs peuvent être des agressions externes ou des défaillances du système étudié (cf. § 3.7.2 et 3.7.3 et **Annexe 1**). Par exemple, le vieillissement des matériaux, la défaillance humaine lors d'une manœuvre, ou encore le séisme, la foudre, l'avalanche ...

Les mesures de sécurité identifiées en amont et en aval de l'ERC peuvent être :

- des dispositifs organisationnels,
- des dispositifs techniques,
- ou la combinaison des deux.

Le paragraphe 3.8.5 détaille la fonction et la quantification du rôle des barrières de sécurité.

L'étude de dangers permet l'évaluation de la probabilité d'occurrence des phénomènes dangereux (PhD) et/ou des accidents majeurs (AM). Leur probabilité est évaluée à partir de la fréquence de l'événement redouté central (ERC) et des événements pouvant survenir entre l'ERC et le PhD et/ou l'AM.

L'évaluation de l'ERC peut être réalisée de deux manières :

- la fréquence de l'ERC peut être issue de **l'évaluation des fréquences des événements initiateurs et de la probabilité de défaillance des barrières de sécurité en prévention de l'ERC** ;
- la fréquence de l'ERC peut être déterminée directement en utilisant une **source de données quantifiée**. Le plus souvent, on est amené à travailler à partir des événements initiateurs, compte tenu de données statistiques insuffisantes.

Les fréquences sont déterminées à partir de règles d'agrégation (porte logique "OU" et "ET") usuellement utilisées en amont de l'ERC. Les règles mathématiques à appliquer sont le plus souvent peu complexes. Ainsi, pour deux événements A et B :

- pour une porte "OU" :

$$f_{A \text{ ou } B} = f_A + f_B$$

- pour une porte "ET", on prend en compte les durées moyennes de A et B. En effet, on cherche à quantifier l'occurrence simultanée de A et B, et il est très intuitif qu'ils se produisent simultanément beaucoup plus souvent si chacun dure 3 mois que s'ils ne durent qu'une seconde. On note ces durées D_A et D_B . On a alors :

$$f_{A \text{ et } B} = f_A \times f_B \times (D_A + D_B).$$

- pour un événement secondaire de probabilité conditionnelle d'occurrence p, ou une barrière de sécurité de probabilité de défaillance à la sollicitation p,

$$f = f_{EI} \times p.$$

Dans cette méthode, les événements sont considérés comme indépendants. Si ce n'est pas le cas, la méthode d'évaluation de la probabilité est adaptée.

Dans tous les cas, toute méthode employée pour quantifier la probabilité des accidents majeurs sera expliquée et justifiée dans l'étude de dangers.

3.8.5 PRISE EN COMPTE DES BARRIERES DE SECURITE

Les barrières de sécurité interviennent en prévention de l'ERC ou en limitation des effets des accidents.

Les barrières intervenant dans la maîtrise du risque sont de trois types :

- les barrières techniques de sécurité, dont :
 - o les dispositifs de sécurité ;
 - o les systèmes instrumentés de sécurité ;
- les barrières humaines de sécurité ;
- une combinaison des barrières techniques et humaines.

Chacune des barrières proposées fait l'objet d'une évaluation de sa performance en se posant les questions fondamentales de la fonction de sécurité remplie et de l'indépendance de la barrière vis à vis de l'événement initiateur.

Cette évaluation examine la performance des barrières au travers des critères suivants :

- efficacité,
- temps de réponse,
- testabilité et maintenance,
- cinétique,
- niveau de confiance.

Il sera possible de décrire la probabilité de certains événements en évaluant le niveau de confiance des barrières de sécurité. Dans cette hypothèse, les méthodes employées sont expliquées et justifiées.

3.8.6 CARACTERISATION DES ACCIDENTS MAJEURS

La dernière étape de l'étude de dangers consiste à avoir une bonne visibilité du niveau de risque en positionnant les accidents majeurs identifiés dans une grille probabilité d'occurrence annuelle / gravité des conséquences, puis à mener une démarche de réduction des risques à la source.

Le résultat de la caractérisation des accidents majeurs est positionné dans une grille « probabilité d'occurrence annuelle / gravité des conséquences », dite grille de criticité.

A l'instar des études de dangers « barrage », la grille proposée pour les conduites forcées n'est pas une grille d'acceptabilité. Elle ne propose pas de niveau de risque acceptable mais permet une bonne visualisation des risques liés à l'aménagement.

La grille de criticité proposée figure ci-après.

Niveau de gravité des conséquences sur les personnes exposées aux effets	Probabilité d'occurrence annuelle (sens croissant de E à A)				
	E	D	C	B	A
Niveau 5					
Niveau 4					
Niveau 3					
Niveau 2					
Niveau 1					

Tableau 4 : Exemple de grille de criticité « Probabilité d'occurrence annuelle / Gravité des conséquences »

3.9 ETUDE DE REDUCTION DES RISQUES

A l'issue du positionnement des accidents majeurs dans la grille de criticité et aux vues des résultats obtenus, une démarche de réduction des risques à la source est menée. L'objectif de cette démarche est d'éliminer les situations jugées trop risquées en mettant en place des mesures complémentaires et/ou supplémentaires de maîtrise des risques.

Les préconisations sont justifiées et une programmation est proposée ce qui constitue un engagement de l'exploitant.

Une grille de criticité résiduelle peut être alors présentée démontrant l'efficacité et la pertinence des mesures complémentaires et/ou supplémentaires mises en œuvre.

Le cas échéant, les études nécessaires à une appréciation adéquate des risques sont identifiées.

4. LISTE DES ANNEXES

Repère	Désignation	Nombre de pages
Annexe 1	Exemples d'arbres des causes établis pour une conduite forcée aérienne	5
Annexe 2	Références réglementaires encadrant les études de dangers relatives aux ouvrages hydrauliques (barrages et digues) et aux installations classées	2

ANNEXE 1

EXEMPLES D'ARBRES DES CAUSES ETABLIS POUR UNE CONDUITE FORCEEE AERIENNE

ANNEXE 1 : EXEMPLES D'ARBRES DES CAUSES ETABLIS POUR UNE CONDUITE FORCEEE AERIENNE

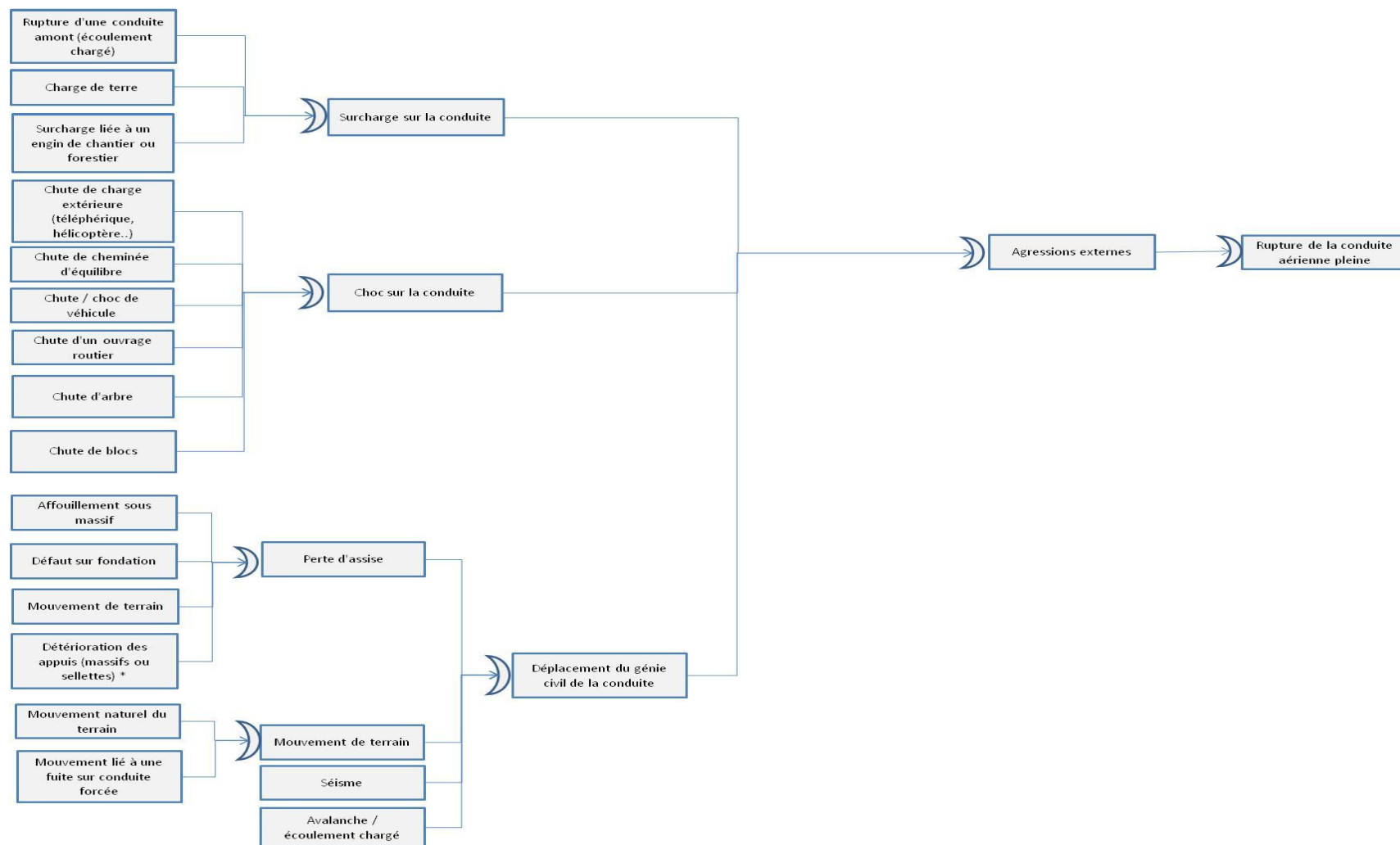


Figure 7 : Exemple d'arbre des causes – Agressions externes - établi pour une conduite forcée aérienne

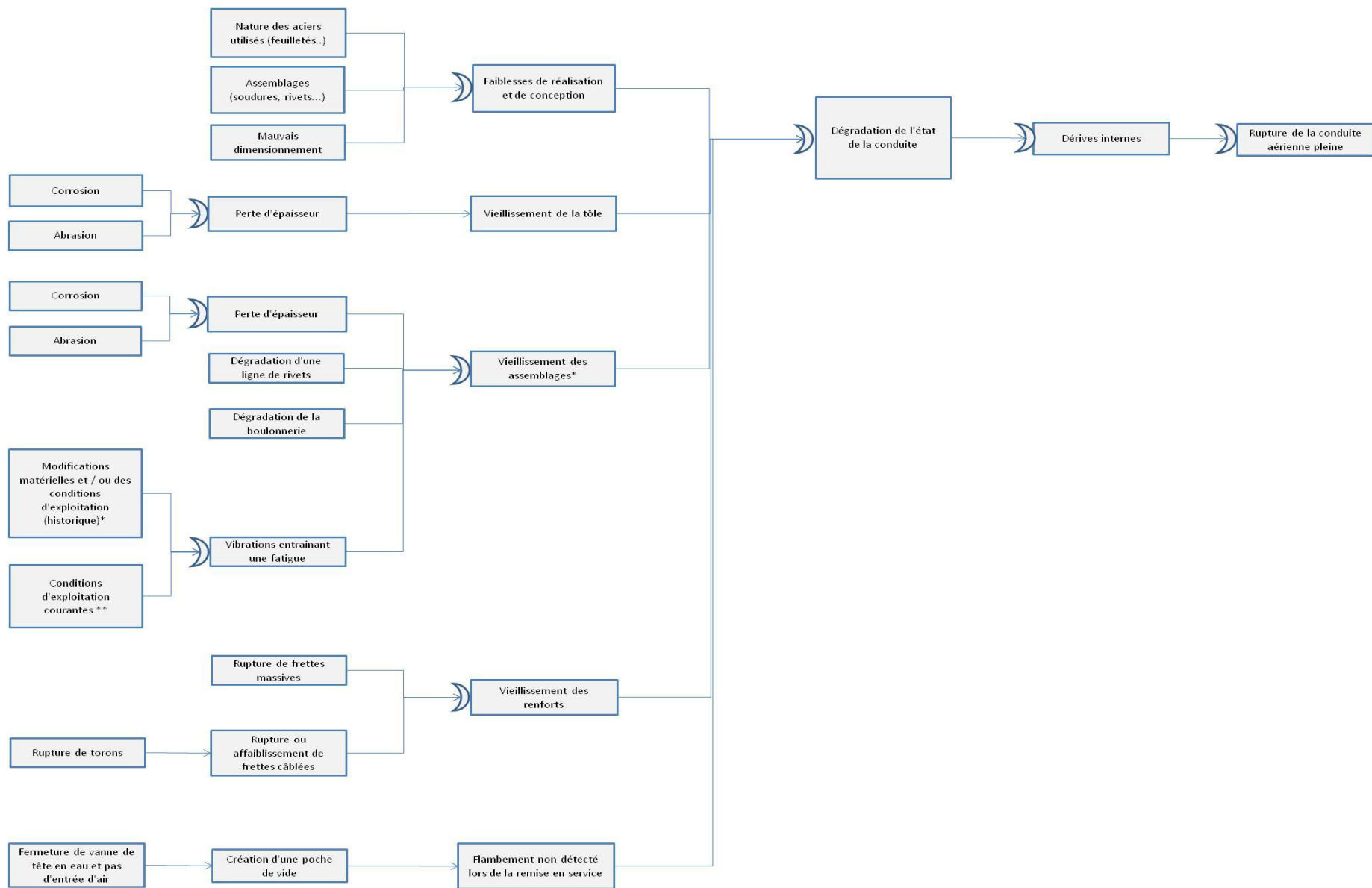


Figure 8 : Exemple d'arbre des causes – dégradation de l'état de la conduite - établi pour une conduite forcée aérienne

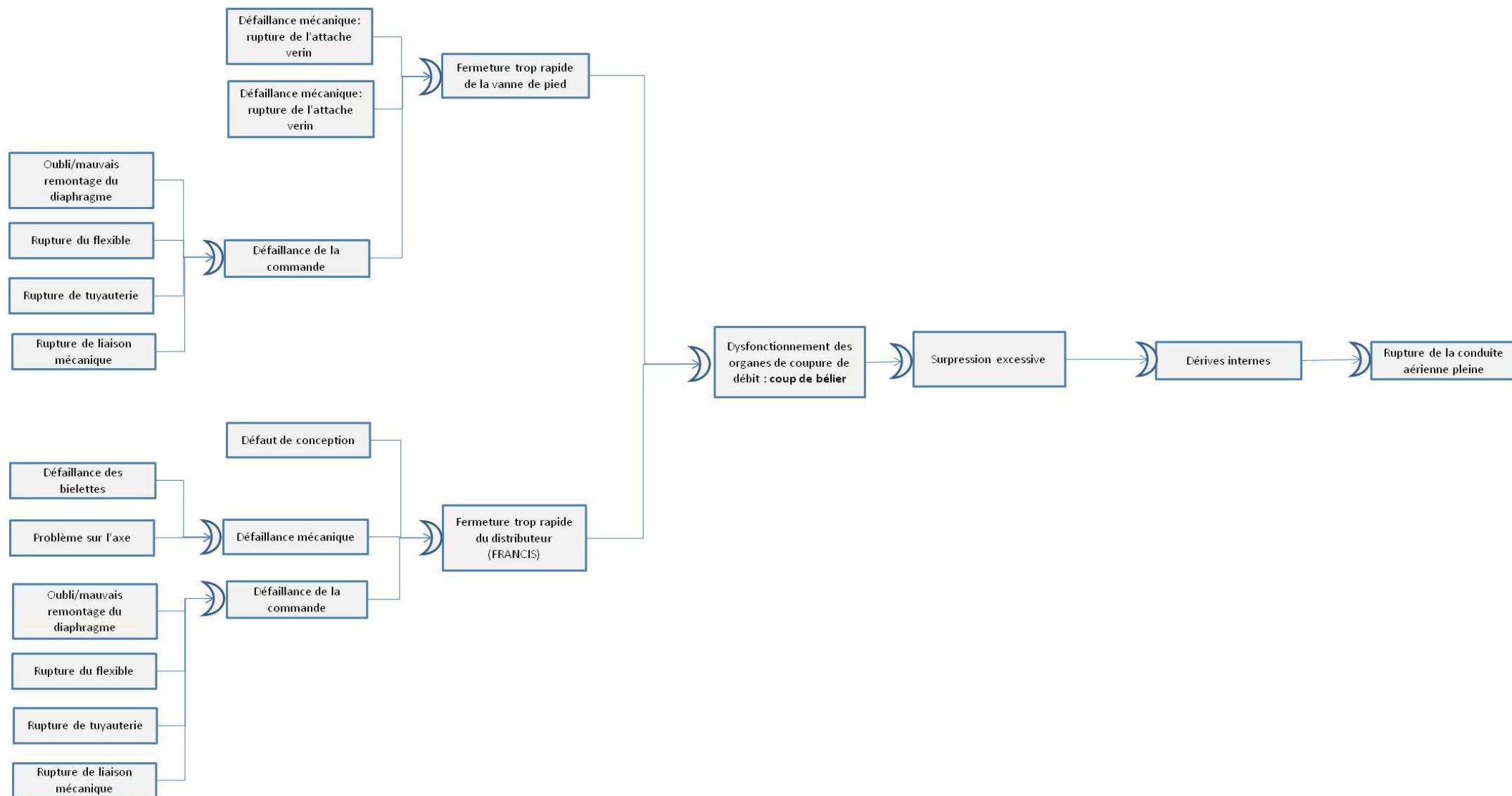


Figure 9 : Exemple d'arbre des causes – dysfonctionnement des organes de coupure de débit (1/2) - surpression excessive - établi pour une conduite forcée aérienne

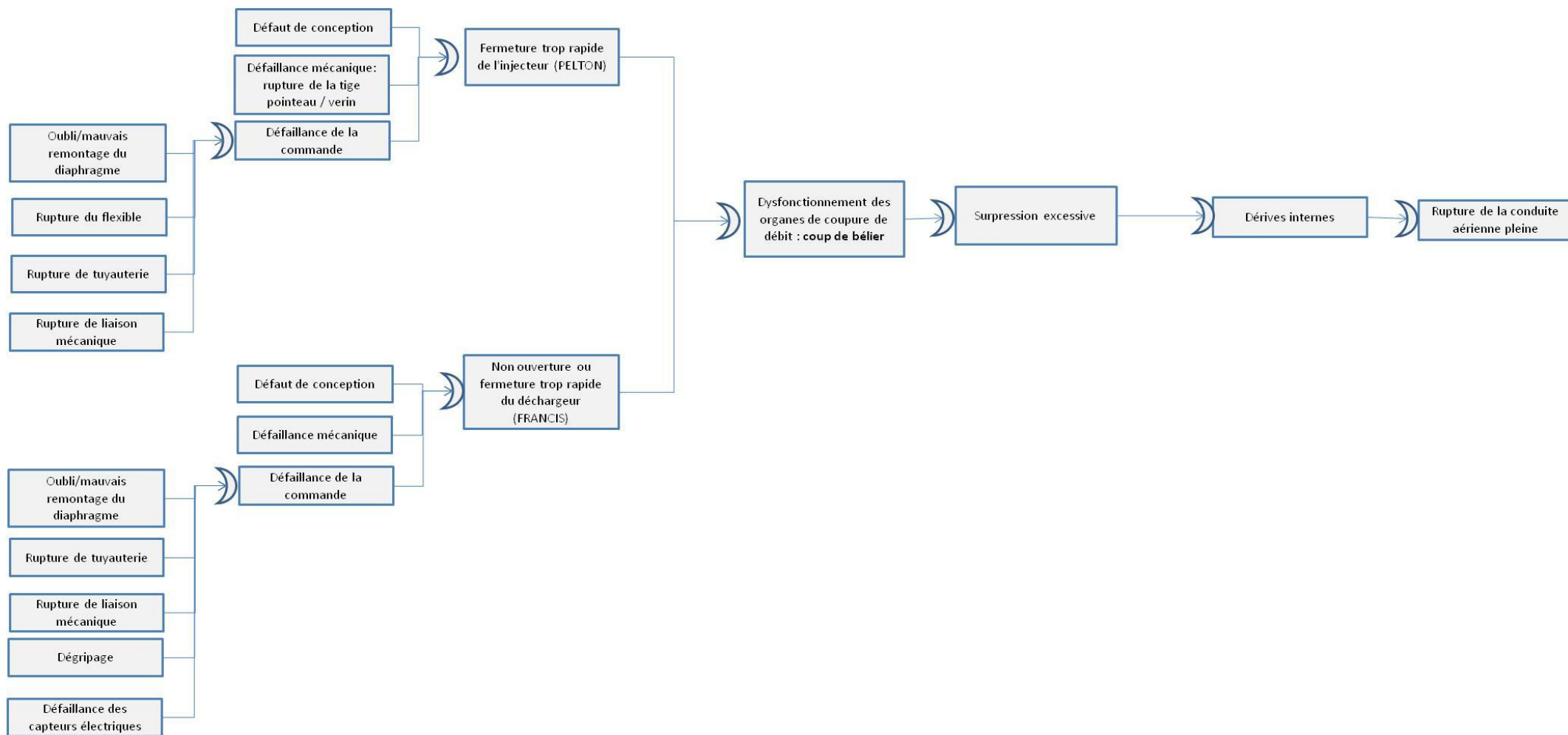
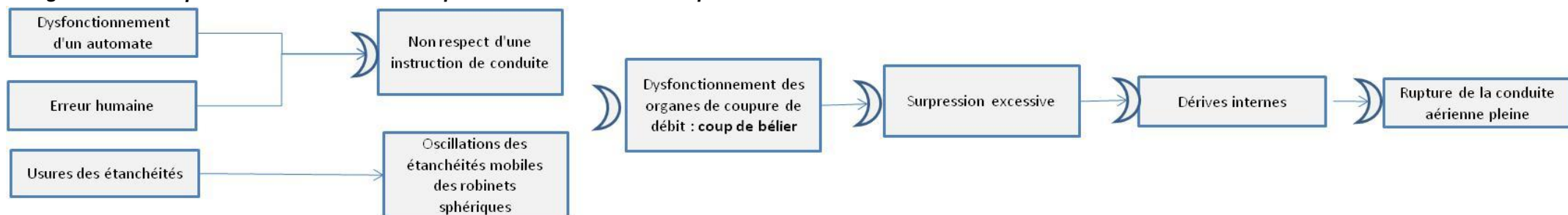


Figure 10 : Exemple d'arbre des causes – dysfonctionnement des organes de coupure de débit (2/2) - surpression excessive - établi pour une conduite forcée aérienne

Figure 11 : Exemple d'arbre des causes - surpression excessive - établi pour une conduite forcée aérienne



ANNEXE 2

RÉFÉRENCES RÉGLEMENTAIRES ENCADRANT LES ÉTUDES DE DANGERS RELATIVES AUX OUVRAGES HYDRAULIQUES (BARRAGES ET DIGUES) ET AUX INSTALLATIONS CLASSÉES

ANNEXE 2 : REFERENCES REGLEMENTAIRES ENCADRANT LES ETUDES DE DANGERS RELATIVES AUX OUVRAGES HYDRAULIQUES (BARRAGES ET DIGUES) ET AUX INSTALLATIONS CLASSEES

Concernant la sécurité et les études de dangers relatives aux ouvrages hydrauliques, les principaux textes sont les suivants :

- [Décret n° 2007-1735 du 11/12/2007](#) relatif à la sécurité des ouvrages hydrauliques et au comité technique permanent des barrages et des ouvrages hydrauliques et modifiant le code de l'environnement :

« [Art. R. 214-115](#). - I. - Le propriétaire ou l'exploitant ou, pour un ouvrage concédé, le concessionnaire d'un barrage de classe A ou B ou d'une digue de classe A, B ou C réalise une étude de dangers telle que mentionnée au 3° du III de l'article [L. 211-3](#). Il en transmet au préfet toute mise à jour ».

« [Art. R. 214-116](#). [L'étude de dangers] explicite les niveaux des risques pris en compte, détaille les mesures aptes à les réduire et en précise les niveaux résiduels une fois mises en œuvre les mesures précitées. Elle prend notamment en considération les risques liés aux crues, aux séismes, aux glissements de terrain, aux chutes de blocs et aux avalanches ainsi que les conséquences d'une rupture des ouvrages. Elle prend également en compte des événements de gravité moindre mais de probabilité plus importante tels les accidents et incidents liés à l'exploitation courante de l'aménagement. Elle comprend un résumé non technique présentant la probabilité, la cinétique et les zones d'effets des accidents potentiels ainsi qu'une cartographie des zones de risques significatifs. Un arrêté des ministres chargés de l'énergie, de l'environnement et de la sécurité civile définit le plan de l'étude de dangers et en précise le contenu ».
- [Arrêté du 12/06/2008](#) définissant le plan de l'étude de dangers des barrages et des digues et en précisant le contenu ;
- [Arrêté du 21/05/2010](#) définissant l'échelle de gravité des événements ou évolutions concernant un barrage ou une digue ou leur exploitation et mettant en cause ou étant susceptibles de mettre en cause la sécurité des personnes ou des biens et précisant les modalités de leur déclaration.
- [Circulaire du 31/10/2008](#) relative aux études de dangers des barrages : « Le guide joint à la présente circulaire est un guide de lecture à l'usage des services chargés du contrôle de la sécurité des barrages placés sous l'autorité des préfets. Il contient des informations sur les méthodes et les références techniques auxquelles les responsables d'ouvrages sont susceptibles de recourir pour l'établissement de leurs études de dangers, compte tenu de l'état de l'art dans ce domaine fixé ».
- [Circulaire du 16/04/2010](#) relative aux études de dangers des digues de protection contre les inondations fluviales.

Concernant les textes issus de la réglementation et de la législation des installations classées, on peut noter les points suivants, relatifs à l'étude de dangers :

- [Art. L.512-1 du Code de l'Environnement \(CE\)](#) : « *[L'étude de dangers] précise les risques auxquels l'installation peut exposer, directement ou indirectement, les intérêts visés au [L.511-1 CE](#) en cas d'accident, que la cause soit interne ou externe à l'installation. Le contenu de l'étude de dangers doit être en relation avec l'importance des risques engendrés par l'installation. En tant que de besoin, cette étude donne lieu à une analyse de risques qui prend en compte la probabilité d'occurrence, la cinétique et la gravité des accidents selon une méthodologie qu'elle explicite. Elle définit et justifie les mesures propres à réduire la probabilité et les effets de ces accidents* ».
- [Décret 77-1133 modifié \(art. 3-5°\)](#) : « *Elle justifie que le projet permet d'atteindre, dans des conditions économiquement acceptables, un niveau de risque aussi bas que possible, compte-tenu de l'état des connaissances et des pratiques et de la vulnérabilité de l'environnement de l'installation* ».

« *Le contenu de l'étude de dangers doit être en relation avec l'importance des risques engendrés par l'installation, compte-tenu de son environnement et de la vulnérabilité des intérêts mentionnés aux articles [L. 211-1](#) et [L. 511-1 du Code de l'Environnement](#)* ».
- [Arrêté du 10/05/2000 modifié \(art 4\)](#) : « *[L'étude de dangers] justifie que l'exploitant met en œuvre toutes les mesures de maîtrise du risque internes à l'établissement, dont le coût n'est pas disproportionné par rapport aux bénéfices attendus soit en termes de sécurité globale de l'installation, soit en termes de sécurité pour les intérêts visés à l'article [L.511-1 du CE](#) ou de coût de mesures évitées pour la collectivité (...). L'étude de dangers expose les objectifs de sécurité poursuivis par l'exploitant, la démarche et les moyens pour y parvenir. Elle décrit les mesures d'ordre technique et les mesures d'organisation et de gestion pertinentes propres à réduire la probabilité et les effets des phénomènes et à agir sur leur cinétique. Elle justifie les éventuels écarts par rapport aux référentiels professionnels de bonnes pratiques reconnus, lorsque ces derniers existent ou à défaut, par rapport aux installations récentes de nature comparable.*».
- [Arrêté du 29/09/2005](#) relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation ;
- [Circulaire du 10/05/2010](#) récapitulant les règles méthodologiques applicables aux études de dangers, à l'appréciation de la démarche de réduction du risque à la source et aux plans de prévention des risques technologiques (PPRT) dans les installations classées en application de la [Loi 2003-699 du 30 juillet 2003](#).



INERIS

*maîtriser le risque
pour un développement durable*

Institut national de l'environnement industriel et des risques

Parc Technologique Alata
BP 2 - 60550 Verneuil-en-Halatte

Tél. : +33 (0)3 44 55 66 77 - Fax : +33 (0)3 44 55 66 99

E-mail : ineris@ineris.fr - **Internet :** <http://www.ineris.fr>