

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE ABOU-BEKR BELKAID - TLEMCEM



Faculté de Technologie
Département de Génie Civil

Mémoire Pour l'Obtention du Diplôme de **Master en Génie Civil**
Option **Civil Engineering Management**

Thème

**Management des risques dans les projets de barrages par la méthode
MADS-MOSAR : « cas de barrage voûte mince d'oued Taht Wilaya de
Mascara »**

Présenté par

ACHOUI Mohammed Amin

BENSMAIN Newfel

Soutenu en juin 2014 devant le jury composé de

HASSAINE N.	<i>Maître Assistant A</i>	<i>Président</i>
ALLAL M.A.	<i>Professeur</i>	<i>Encadreur</i>
HAMZAOUI F.	<i>Maître Assistant A</i>	<i>Encadreur</i>
ROUISSAT B.	<i>Maître Assistant A</i>	<i>Examineur</i>
BARKAT M.	<i>Ingénieur chef de projet</i>	<i>Examineur</i>

**Management des risques dans les projets de barrages par la méthode
MADS-MOSAR : « cas de barrage voûte mince d'oued Taht Wilaya
de Mascara »**

ACHOUI Mohammed Amin

BENSMAIN Newfel

REMERCIEMENTS

Avant tout, nous remercions Dieu de nous avoir donné la force de réaliser ce travail.

Le présent mémoire d'initiation à la recherche n'aurait pas été possible sans le soutien et la participation de plusieurs personnes auxquelles nous souhaitons également exprimer toute notre gratitude.

Tout d'abord nous souhaitons exprimer nos sincères remerciements à nos encadreurs, Monsieur le Professeur ALLAL M. A. et Monsieur HAMZAOUI F. Maître Assistant 'A'. pour leur soutien, leur disponibilité, leur encouragement et leurs précieux conseils le long de l'élaboration de ce projet.

Nous remercions Monsieur HASSAINE N. Maître Assistant 'A', de nous avoir fait l'honneur de présider notre jury.

Notre gratitude s'adresse également à Monsieur ROUISSAT B. Maître assistant 'A' et à Monsieur BARKAT M. ingénieur chef de projet pour avoir accepté d'examiner ce présent mémoire.

Nos remerciements s'adressent aussi à toutes les personnes qui nous ont aidé à élaborer ce mémoire et à toute personne y ayant contribué de près ou de loin, que ce soit sur le plan éducatif ou instructif.

Nous remercions enfin nos parents, qui nous ont inculqué un esprit rigoureux, appliqué, minutieux, voire perfectionniste, grâce auquel nous avons acquis un goût prononcé pour le travail bien fait, ainsi qu'une volonté de compréhension pointue des choses, en bref, un esprit de futur chercheur ! Et bien sûr, nous ne pouvons terminer sans exprimer notre profonde gratitude à nos chers frères et sœurs.

RESUME

Les risques, en général, existent dans n'importe quel projet ; on ne peut guère réaliser un projet sans prendre de risques. Les barrages sont des projets assez complexes dans leur conception, leur réalisation et leur exploitation, et sont souvent soumis à des risques multiples pouvant altérer leur bon fonctionnement et/ou impacter négativement leur environnement.

Le présent mémoire d'initiation à la recherche se focalise sur le management des risques dans les projets de barrages, avec une mise en œuvre d'outils et de méthodes spécifiques de maîtrise des risques. Dans ce travail, nous avons défini ce qu'est un barrage, en y présentant les différents types de barrages qui peuvent exister, leurs avantages, une classification, et la politique en matière d'eaux en Algérie. Par la suite, nous présentons un panorama sur les principaux risques associés aux barrages déjà survenus dans le monde. Lesquels sont synthétisés. Une revue bibliographique des principaux outils d'analyse des risques aussi que la norme ISO 31000 sont présentées en vue d'être valorisés certains pour la suite du travail.

Après avoir passé en revue ces généralités, nous présenterons notre cas d'étude : « Le projet de barrage en voûte mince de Oued Taht, Wilaya de Mascara », avec les documents de base pour l'élaboration d'un projet de barrage. La partie la plus originale de ce travail sera d'appliquer la méthode de maîtrise des risques MADS-MOSAR à notre cas d'étude, en faisant appel à une analyse systémique et une autre fonctionnelle.

Mots clés : barrage – risque – rupture – management – ISO 31000 – analyse systémique – analyse fonctionnelle – MADS-MOSAR.

ABSTRACT

Risks, in general, exist in any project; and hardly ever can one carry out a project without taking risks. Dams are rather complex projects in their design, their construction and their operation, and are often subjected to multiple risks which can alter their good performance and impact negatively their environment. This presentation of initiation to research is focused on risk management in the projects of dams, with an implementation of specific tools and methods for the control of the risks. In this work, we shall define what a dam is, while presenting the various types of dams which can exist, their benefits, a classification and the policy managing water in Algeria. Thus we shall provide a profile of the main risks associated with dams, risks which can cause a dam failure, with examples having already taken place in the world; besides an overview of the analysis tools of risks and the Standard ISO 31000. Once such general information exposed, we shall present our case study: “The Project of a Thin Arch Dam in Oued Taht, Wilaya of Mascara” with the basic background documents for a dam project development. The most original part of this work will be to apply the method of control of risks MADS-MOSAR to our case study by using a systemic analysis and another functional one. The objective of this work is to put into action various barriers so as to decrease the criticality of the undesirable events.

Keywords: dam – risk – dam failure – management – ISO 31000 – systemic analysis – functional analysis – MADS-MOSAR.

ملخص

هذا العمل جزء لا يتجزأ من باقي البحوث الخاصة " بمناجنت الأخطار"، مع العلم أن هناك أخطار في أي مشروع. والسدود مشاريع معقدة جدا في تصميمها وتنفيذها واستعمالها. ففي اغلب الأحيان قد تكون عرضة لأخطار متعددة؛ فإما قد تأثر على أدائها وإما تنعكس سلبا على البيئة المحيطة. فلهدا لا نستطيع انجاز أي مشروع دون أخذ الخطر بعين الاعتبار. ركزنا في هذه المذكرة على مناجنت الأخطار في مشاريع السدود، مع تطبيق أدوات وأساليب محددة للسيطرة على المخاطر. في هذا العمل سنعرف السد ونقوم بعرض مختلف أنواعه ومزاياه الموجودة. ولائحة تصنيف وسياسة المياه في الجزائر. ولمحة عامة عن الأخطار الرئيسية المرتبطة بالسدود والتي يمكن أن تسبب انهيار السد، مع أمثلة قد حدثت في مختلف أنحاء العالم، نظرة عامة عن أساليب تحليل الأخطار طبقا للمرجع ISO 31000.

بعد استعراض هذه العموميات سوف نقوم بوصف مشروع "سد واد تحت ولاية معسكر" مع مختلف القواعد الأساسية لإنجاز مشاريع السدود. الجزء الأكثر أصلي في هذا العمل هو تطبيق طريقة MADS-MOSA للسيطرة على الأخطار في مشروع "سد واد تحت" مستعينين بتحليل منهجي نظامي وآخر وظيفي. الهدف من هذا العمل هو استنباط مختلف الحواجز التي بإمكانها التقليل من مدى أهمية الحوادث الغير مرغوب فيها.

الكلمات المحورية: السد-الأخطار - انهيار-مناجنت-تحليل نظامي-تحليل وظيفي- MADS-MOSAR- ISO 31000.

TABLE DES MATIERS

	REMERCIEMENTS.....	III
	RESUME.....	IV
	ABSTARCT.....	V
	ملخص.....	VI
	TABLE DES MATIERES.....	VII
	LISTE DES FIGURES.....	VIII
	LISTE DES TABLEAUX.....	IX
	LISTE DES ABREVIATIONS ET ACRONYMES.....	X
	LISTE DES NOTATIONS.....	XI
	INTRODUCTION GENERALE.....	2
CHAPITRE 1	GENERALITE SUR LES BARRAGES	6
1.1.	INTRODUCTION.....	7
1.2.	DÉFINITION.....	8
1.3.	RÔLE DES BARRAGES.....	8
1.3.1.	L'irrigation.....	9
1.3.2.	Hydro-électricité.....	10
1.3.3.	Distribution d'eau pour usages domestiques et industriels.....	11
1.3.4.	Navigation fluviale.....	11
1.3.5.	Contrôle des crues.....	12
1.4.	LES FONCTIONS DES OUVRAGES ACCUMULATION.....	13
1.5.	LES PARTICULARITES DE LA CONSTRUCTION DES BARRAGES....	14
1.6.	L'EVOLUTION ET L'AVENIR DES BARRAGES.....	15
1.6.1.	Construction des barrages à travers les âges.....	15
1.6.2.	Le développement des barrages en Algérie.....	17
1.6.2.1.	Brève historique sur les barrages en Algérie.....	17
1.6.2.2.	Constat sur la situation actuelle en Algérie.....	18
1.6.2.3.	Politique des eaux en Algérie.....	19
1.6.2.4.	Les différentes agences du secteur de l'eau en Algérie.....	20
1.6.3.	Les barrages aujourd'hui.....	21
1.7.	LES DIFFERENTS TYPES DE BARRAGES.....	22
1.7.1.	Les barrages en béton et en maçonnerie.....	23
1.7.2.	Les barrages en remblai.....	26
1.7.3.	Avantages et particularités des différents types de barrages.....	29
1.7.4.	Critères d'évaluation d'un aménagement à accumulation.....	33
1.8.	LES BARRAGES ET L'ENVIRONNEMENT.....	34
1.9.	CONCLUSION.....	35
CHAPITRE 2	LES RISQUES DANS LES BARRAGES	37
2.1.	INTRODUCTION.....	38
2.2.	CONCEPT DE RISQUE ET DEFINITIONS.....	38
2.2.1.	Définitions.....	39

2.2.1.1.	Qu'est ce qu'un risque ?.....	39
2.2.1.2.	Qu'est ce qu'un aléa ?.....	39
2.2.1.3.	Qu'est ce qu'une vulnérabilité ?.....	39
2.2.2.	Facteurs et caractéristiques des risques.....	40
2.2.3.	Typologie des risques.....	41
2.2.3.1.	Risques naturels.....	41
2.2.3.2.	Risques d'origine anthropique.....	41
2.2.3.3.	Risques et milieu urbain.....	42
2.2.4.	Risque projet.....	42
2.3.	LES RISQUES LIES AUX BARRAGES.....	42
2.3.1.	La rupture des barrages.....	42
2.3.1.1.	Comment se produirait la rupture ?.....	43
2.3.1.2.	L'onde de submersion.....	44
2.3.1.3.	Les conséquences sur les personnes et les biens.....	44
2.3.1.4.	Les principaux accidents dans le monde.....	45
2.3.2.	Les principales causes de rupture des barrages.....	47
2.3.2.1.	La submersion.....	47
2.3.2.2.	L'érosion régressive.....	49
2.3.2.3.	L'instabilité.....	49
2.3.2.4.	Vieillesse.....	51
2.3.2.5.	L'envasement.....	53
2.3.2.6.	Sous pression.....	54
2.3.2.7.	Glissement terrain.....	54
2.3.2.8.	Gonflement du béton.....	55
2.3.2.9.	Séisme.....	56
2.3.2.10.	Lâcher d'eau.....	56
2.3.2.11.	Les évènements climatiques.....	57
2.3.2.12.	La fonte de neige.....	57
2.4.	MANAGEMENT DE RISQUE PROJET : Méthodes, Processus Et Outils... ..	59
2.4.1.	Analyse des risques.....	59
2.4.1.1.	Définition de l'analyse des risques.....	60
2.4.1.2.	Les différentes démarches d'analyse des risques.....	60
2.4.1.3.	Évaluation du risque.....	62
2.4.2.	La norme ISO 31000:2009.....	64
2.4.2.1.	Normes associées.....	64
2.4.2.2.	Structure de la norme ISO 31000.....	66
2.4.3.	Survol sur les outils et méthodes de maîtrise des risques.....	68
2.4.4.	Champs d'application d'analyse des risques dans le domaine des barrages... ..	71
2.5.	CONCLUSION.....	71

CHAPITRE 3	PRESENTATION DU CAS : «LE PROJET DE BARRAGE VOUTE MINCE D'OUED TAHT WILAYA DE MASCARA»	73
3.1.	INTRODUCTION.....	74
3.2.	BASES POUR L'ELABORATION ET LA REALISATION D'UN PROJET DE BARRAGE.....	74
3.2.1.	Identification des conditions liées au site.....	74
3.2.1.1.	Conditions topographiques.....	75
3.2.1.2.	Reconnaitances géologiques et géotechniques.....	76
3.2.1.3.	Recherche des matériaux.....	78
3.2.1.4.	Sismicité.....	78
3.2.1.5.	Les conditions climatiques.....	79
3.2.1.6.	Maîtrise des crues.....	79
3.2.2.	Actions et sollicitations.....	80
3.2.3.	Procédures administrative et exigences.....	81
3.2.3.1.	Documents de base relatifs au projet de barrage.....	82

3.3.	PRESENTATION DU CAS.....	83
3.3.1.	Historique du projet.....	83
3.3.2.	Fiche synoptique.....	86
3.3.2.1.	Localisation.....	86
3.3.2.2.	Destination de l'aménagement.....	86
3.3.2.3.	Caractéristiques hydrologiques.....	86
3.3.2.4.	Composition et description de l'aménagement.....	87
3.3.2.5.	Autorisation du programme.....	
3.3.2.6.	Données contractuelles.....	~
3.3.2.7.	Volumes des travaux.....	90
3.3.2.8.	Expropriation.....	91
3.4.	APPROCHE SYSTEMIQUE DANS UN PROJET DE BARRAGE.....	92
3.4.1.	Analyse systémique.....	92
3.4.2.	Analyse fonctionnelle.....	93
3.5.	CONCLUSION.....	96

CHAPITRE 4	APPLICATION DE LA METHODE MADS-MOSAR SUR LE PROJET DE BARRAGE VOUTE MINCE D'OUED TAHT	97
-------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------	-----------

4.1.	INTRODUCTION.....	98
4.2.	LA METHODE MADS-MOSAR.....	98
4.2.1.	Méthodologie MOSAR.....	98
4.2.2.	Modèles mis en œuvre : MADS.....	101
4.2.3.	Mise en œuvre de MADS-MOSAR.....	102
4.2.3.1.	Modélisation.....	103
4.2.3.2.	Identification des sources.....	104
4.2.3.3.	Association des événements.....	104
4.2.3.4.	Construction des processus.....	104
4.2.3.5.	Construction des scénarios.....	105
4.2.3.6.	Construction des arbres logiques.....	105
4.2.3.7.	Identification des mesures de maîtrise des risques.....	105
4.2.3.8.	Identification des mesures de pérennité.....	105
4.2.4.	Avantages et limites de la méthode.....	106
4.3.	APPLICATION DE LA METHODE MADS-MOSAR SUR LE PROJET DE BARRAGE VOUTE MINCE D'OUED TAHT.....	106
4.3.1.	Décomposition du système.....	106
4.3.2.	Identification des sources de danger.....	107
4.3.3.	Association des évènements.....	109
4.3.4.	Construction des processus.....	119
4.3.5.	Construction des scénarios.....	124
4.3.6.	Construction des arbres logiques.....	132
4.3.7.	Évaluation et hiérarchisation des scénarios.....	136
4.3.8.	Identification des mesures de maîtrise des risques.....	139
4.4.	CONCLUSION.....	142

CONCLUSION GENERALE..... 143

BIBLIOGRAPHIE..... 146

WOBGRAPHIE..... 150

GLOSSAIRE..... 151

ANNEXES..... 159

ANNEXE A Informations complémentaire sur l'étude de cas

ANNEXE B Scénarios longs du système barrage

ANNEXE C Cadrage de notre projet de fin d'étude

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE 1

Figure 1.1.	Barrage voûte de Foum el Gherza mis en service en 1950, situé à proximité de Biskra (Algérie). Sa hauteur maximale est de 73 m. (tiré de : www.algerie-verite.com).....	2
Figure 1.2.	Barrage voûte de Brezina El bayadh (Algérie) mis en service en 2001. Sa hauteur est de 35 m. (tiré de : www.visoterra.com).....	6
Figure 1.3.	les cinq bassins hydrographiques de l'Algérie (Mozas M. & Ghosn A., 2013)	19
Figure 1.4.	les familles des barrages en béton (SCHLEISS A.J. & POUGATASCH H., 2011).....	23
Figure 1.5.	Coupes-type des barrages en béton (SCHLEISS A.J. & POUGATASCH H., 2011).....	24
Figure 1.6.	Etapes de bétonnage (SCHLEISS A.J. & POUGATASCH H., 2011).....	25
Figure 1.7.	Les types de barrages en remblai (SCHLEISS A.J. & POUGATASCH H., 2011).....	26
Figure 1.8.	Coupes schématiques de différents types de barrages en remblai et disposition des éléments d'étanchéité (SCHLEISS A.J. & POUGATASCH H., 2011).....	27
Figure 1.9.	Barrage en remblai-mise en place et consolidation (SCHLEISS A.J. & POUGATASCH H., 2011).....	29
Figure 1.10.	Composantes principales de l'environnement (SCHLEISS A.J. & POUGATASCH H., 2011).....	35

CHAPITRE 2

Figure 2.1.	Barrage voûte de Tichi Haf Béjaïa (Algérie) mis en service en 2005. Sa hauteur est de 84 m. (tiré de : www.aghaladh.centerblog.net).....	37
Figure 2.2.	Une combinaison de l'aléa et des enjeux (Risque dû à la rupture d'un barrage).....	40
Figure 2.3.	L'onde de submersion.....	44
Figure 2.4.	Rupture du barrage de Fergoug (BOUHALALI M., 2006).....	48
Figure 2.5.	Rupture de barrage en terre. Le barrage de Teton (Idaho, États-Unis, 1976) (SCHLEISS A.J. & POUGATASCH H., 2011).....	49
Figure 2.6.	Barrage Malpasset avant (a) et après (b) sa rupture (SCHLEISS A.J. & POUGATASCH H., 2011).....	50
Figure 2.7.	Dégradation du Barrage de Beli Iskar (BOUHALALI M., 2006).....	52
Figure 2.8.	La rupture du barrage de Bouzey (DEROO L., 2011).....	54
Figure 2.9.	Glissement en rive gauche du barrage du Vajont (hydropower&dams).....	55
Figure 2.10.	La rupture du barrage de San Fernando (SCHLEISS A.J. & POUGATASCH H., 2011).....	56
Figure 2.11.	Classification des principaux risques qui conduisent à la rupture du barrage.....	58
Figure 2.12.	Démarche inductive et déductive (BOUNIE D., 2008).....	60
Figure 2.13.	les différentes approches du diagnostic et de l'analyse de risques pratiquées dans le domaine des barrages (PEYRAS L., 2002).....	62
Figure 2.14.	Diagramme de Farmer ou diagramme fréquence-gravité.....	63
Figure 2.15.	Structure de la norme ISO 31000 (DALI A., 2011).....	66
Figure 2.16.	Cadre organisationnel du risque (ISO 31 000, 2009).....	67
Figure 2.17.	Processus de management du risque selon l'ISO 31000 : 2009.....	67

CHAPITRE 3

Figure 3.1.	Fin des travaux d'excavation (Barrage voûte mince d'oued That Wilaya de MASCARA).....	73
Figure 3.2.	Représentation schématique des différentes formes de vallées (Anton J. Schleiss & Henri Pougatsch, 2011).....	75
Figure 3.3.	Phases principales dans l'élaboration d'un projet de barrage (A.D.E.M.E, 2003).....	82
Figure 3.4.	Vue 3D des deux variantes (vidange non représentée); (ISL, 2011).....	84
Figure 3.5.	Localisation du site du barrage Oued Taht (Google Maps, 2014).....	86
Figure 3.6.	Versant du barrage Oued Taht (Google Maps, 2014).....	87
Figure 3.7.	La retenue du barrage Oued Taht (ISL, 2011).....	87

Figure 3.8.	Vue 3D du barrage type voûte (vidange représentée); (ISL, 2011).....	88
Figure 3.9.	Projection du futur corps du barrage d'oued Taht.....	89
Figure 3.10.	Les deux rives du barrage oued Taht avant et après les travaux d'excavation.....	91
Figure 3.11.	Définition et limite du système.....	92
Figure 3.12.	Analyse systémique du barrage voûte mince, Oued Taht wilaya de MASCARA....	94
Figure 3.13.	Analyse fonctionnelle du barrage voûte mince, Oued Taht wilaya de MASCARA..	95

CHAPITRE 4

Figure 4.1.	L'installation de l'explosif sur le chantier de barrage voûte mince d'oued Taht Wilaya de MASCARA.....	97
Figure 4.2.	les deux modules et les dix niveaux de MOSAR : le parcours complet du MOSAR (MORTUREUX Y., 2005).....	100
Figure 4.3.	Le modèle MADS ou l'univers du danger (PERILHON P. 2003).....	101
Figure 4.4.	Les huit étapes de la mise en œuvre de MADS-MOSAR (GRANDAMS O., 2010)...	103
Figure 4.5.	Événements associés à la source (PERILHON P. 2003).....	104
Figure 4.6.	Cible des Système source de danger dans les projets de barrages.....	107
Figure 4.7.	Boîte noire du SS1 Corps du barrage & Injections.....	120
Figure 4.8.	Boîte noire du SS2 Equipements.....	121
Figure 4.9.	Boîte noire du SS3 Engins.....	122
Figure 4.10.	Boîte noire du SS4 Ressource humaine.....	123
Figure 4.11.	Boîte noire du SS5 Environnement.....	124
Figure 4.12.	Scénario court du SS1 Corps du barrage & Injections.....	126
Figure 4.13.	Scénario court du SS2 Equipements.....	128
Figure 4.14.	Scénario court du SS3 Engins.....	129
Figure 4.15.	Scénario court du SS4 Ressource humaine.....	131
Figure 4.16.	Scénario court du SS5 Environnement.....	132
Figure 4.17.	Arbre logique Ouvrage non conforme.....	133
Figure 4.18.	Arbre logique Arrêt de chantier.....	134
Figure 4.19.	Arbre logique Blessure.....	135
Figure 4.20.	Grille de criticité pour le SS1 Corps du barrage & Injections.....	137
Figure 4.21.	Grille de criticité pour le SS2 Equipements.....	137
Figure 4.22.	Grille de criticité pour le SS3 Engins.....	137
Figure 4.23.	Grille de criticité pour le SS4 Ressource humaine.....	138
Figure 4.24.	Grille de criticité pour le SS5 Environnement.....	138
Figure 4.25.	Grille de criticité pour les scénarios longs.....	138
Figure 4.26.	Bétonnage de la parie encrée des plots centraux du barrage voûte mince d'oued TahtWilaya de MASCARA.....	143

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE 1		
Tableau 1.1.	Classification par surface irriguée (CIGB, 2014).....	9
Tableau 1.2.	Classification par capacité de production énergétique installée (CIGB, 2014).....	10
Tableau 1.3.	Classification par volume disponible pour la protection contre les crues (CIGB, 2014).....	12
Tableau 1.4.	Inventaire des affectations principales d'un ouvrage d'accumulation (CSB, 2000).....	13
Tableau 1.5.	Barrage en construction dans le monde, état au début 2010. (Selon hydropower &dams, 2010).....	22
CHAPITRE 2		
Tableau 2.1.	Les accidents les plus graves entre 1959 et 1987 (M.P.P.R, 2004)...	45
Tableau 2.2.	Les caractéristiques principales du barrage Fergoug(BOUHALALI M., 2006)	47
Tableau 2.3.	Caractéristiques principales du barrage(BOUHALALI.M, 2006)....	51
Tableau 2.4.	Résultats d'essais de mesure de la résistance à la compression(Lino ISL.M, 2001).....	52
Tableau 2.5.	Capacités de certains barrages Algériens en l'an 2010. (REMINI B.,2007).....	53
Tableau 2.6.	Synthétique des caractéristiques des méthodes (DJAOUT I., 2009)....	70
CHAPITRE 3		
Tableau 3.1.	Les principaux essais géomécaniques et géotechniques effectués in situ et en laboratoire (SCHLEISS A.J. & POUGATASCH H., 2011).....	77
Tableau 3.2.	Charges prises en compte pour la vérification des barrages (SCHLEISS A.J. & POUGATASCH H., 2011).....	81
Tableau 3.3.	Les avantages et inconvénients des deux variantes (ISL, 2011).....	85
CHAPITRE 4		
Tableau 4.1.	Systèmes sources de danger dans les projets de barrages.....	108
Tableau 4.SS1.	Association des évènements pour SS1 Le corps du barrage et injections.....	110
Tableau 4.SS2.	Association des évènements pour SS2 les équipements.....	113
Tableau 4.SS3.	Association des évènements pourSS3 les engins.....	115
Tableau 4.SS4.	Association des évènements pourSS4 la ressource humaine.....	116
Tableau 4.SS5.	Association des évènements pourSS5 l'environnement.....	118
Tableau 4.2.	Echelle de probabilité.....	136
Tableau 4.3.	Echelle de gravité.....	136
Tableau 4.4.	Typologie associée aux barrières (GRANDAMS O., 2010).....	139
Tableau 4.5.	Identification des barrières.....	140

ACRONYMES ET ABREVIATION

A.D.E.M.E	Agence De l'Environnement Et De La Maîtrise De l'Énergie (France)
ADD	L'analyse Par Arbre Des Défauts
ADE	Algérienne Des Eaux
AMDE	L'analyse Des Modes De Défaillance Et De Leurs Effets
AMDEC	Analyse Des Modes De Défaillance, De Leurs Effet Et De Leur Criticité
ANBT	Agence Nationale Des Barrages Et Transferts
ANRH	Agence Nationale Des Ressources Hydrauliques
APD	Avant projet détaillé
APR	Analyse Préliminaire Des Risques
BCR	Béton Compacté Au Rouleau
BCR	Béton Compacté Au Rouleau
BCV	Béton Conventionnel Vibré
BT	Barrière technologique
BU	Barrière d'utilisation
CEA	Commissariat à l'énergie atomique
CEI	Commission Electrotechnique Internationale
CIGB	Commission Internationale Des Grands Barrages
CLP	Carburant lubrifiant pneumatique
CSB	Comité Suisse Des Barrages
CTH	contrôle technique hydraulique
DA	Dinars algérien
DREW	Directions Des Ressources En Eau De Wilaya
Dys.	dysfonctionnement
EI	événement initial
EIE	Etude D'impact Sur L'environnement
EIE	événement initiateur externe
EII	événement initiateur interne
Enhyd	Entreprise national hydraulique d'aménagement
ENS	Événement Non Souhaité
EP	événement principal
etc.	Extras
G	Gravité
HAZOP	Hazard And Operability Studies
ISL	Bureau D'ingénieurs Conseils (France)
J.C.	Jésus-Christ
M.P.P.R	Ministère De La Prévention Des Pollution Et De Risques (France)
MADS	Méthodologie D'analyse De Dysfonctionnements Des Systèmes
MDA	Million Dinars Algérien
MOSAR	Méthode Organisé Systémique D'analyse Des Risques
MRE	Ministère Des Ressources En Eau
NGA	Niveau général algérien
ODS	Ordre de service
OMS	Organisation Mondiale De La Santé
ONA	Office National De L'assainissement
ONID	Office National De L'irrigation Et Du Drainage
P	Probabilité

p. ex.	Par Exemple
PDR	Pièce de rechange
PHE	Plus haut point d'eau
PMBOK	Project Management Body Of Knowledge
PMI	Project Management Institute
PPI	Plan Particulier D'intervention
RMB	Registre Mondial Des Grands Barrages
RN	Retenu Normale
S	Scénario
SS	Sous système
TR	Rapport Technique
TTC	Toute taxe comprise
UNISDR	The United Nations Office For Disaster Risk Reduction
USA	United States Of America

LISTE DES NOTATIONS

GWh/an	Géga watt heure par an
ha	Hectare
Hm³	Hecto mètre cube
Kg	Kilo gramme
Km²	Kilomètre carré
m	mètre
m³	Mètre cube
m³/s	Mètre cube par seconde
mm	Mili mètre
Mm³	Million mètre cube
Mpa	Méga pascalle
Mw	Méga watt
ml	Mètre linière

INTRODUCTION GENERALE

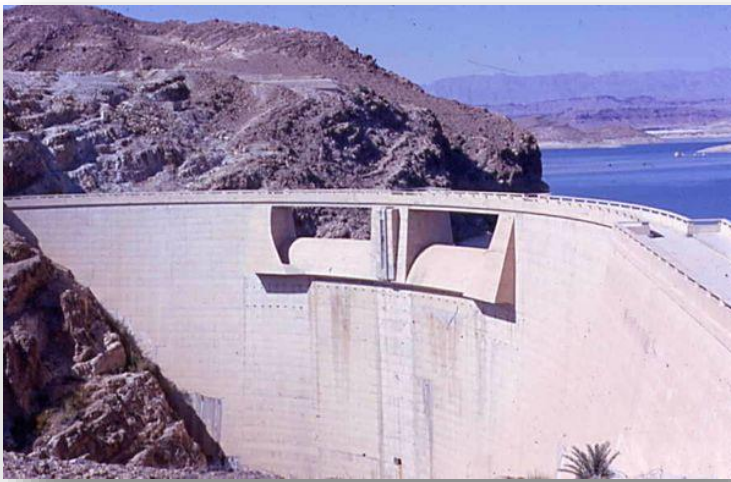


Figure 1.1. Barrage voûte de **Foug el Gherzamis** en service en 1950, situé à proximité de Biskra (Algérie). Sa hauteur maximale est de 73 m.
(Tiré de : www.algerie-verite.com)

*Le plus grand arbre est né
d'une graine menue; une
tour de neuf étages est
partie d'une poignée de
terre.*

Lao-Tseu

INTRODUCTION GENERALE

Les barrages - souvent appelés « pyramides utiles » - font partie des plus grands ouvrages réalisés par l'homme depuis des milliers d'années ; l'homme s'en sert pour l'utilisation de l'eau et la protection contre l'eau. Il n'est donc pas exagéré d'affirmer que les barrages jouent et joueront toujours un rôle essentiel pour l'homme puisqu'ils lui permettent d'assurer ses besoins vitaux en eau, en nourriture et en énergie, tout en respectant l'environnement et en garantissant la gestion durable des ressources. De tout temps, la construction de barrages a contribué au développement et à la prospérité économique.

Les barrages sont des majestueux ouvrages du génie civil, peuvent être considérés comme des ouvrages particuliers. Ils présentent par ailleurs la caractéristique de pouvoir être affectés à différentes fonctions. Ils jouent cependant deux rôles principaux : celui, d'une part, de stocker les apports d'eau afin de répondre aux besoins vitaux et économiques des populations (eau potable, irrigation, fourniture d'énergie, navigation) et celui, d'autre part, de protection contre des effets destructeurs de l'eau (maîtrise des crues, rétention de sédiments, protection contre les avalanches) ou de recours pour le cas de pénurie en eau.

Les barrages sont l'image forte de l'ingénieur civil, il a réellement le sentiment de construire quelque chose d'exceptionnel dans un contexte incertain ; incertitude de comportement et les conditions de mise en œuvre des matériaux, incertitudes sur l'environnement. Ces ouvrages subsistent toujours un risque, et l'interaction avec autres risques naturels ou technologiques peut causer la rupture du barrage. Le risque rupture de barrage correspond à l'immersion brutale et rapide de la vallée en aval entraînant de nombreuses victimes et des dégâts matériels et environnementaux importants.

Quasiment depuis l'antiquité les êtres humains ont toujours cherché à lutter contre les risques de la nature et à travers l'histoire nous pouvons bien remarquer que l'homme s'est servi de la science comme moyen de défiance.

Le concept de risque possède un grand nombre de définitions et d'approches et la confusion est souvent localisée sur le pourcentage de probabilité, que ce soit dans le langage courant ou dans les références techniques.

Pour cela, l'industrie a développé et utilisé depuis de nombreuses années des techniques pour identifier, analyser, et manager les risques. Ces techniques sont regroupées dans la sûreté de fonctionnement, qui est définie comme la science des défaillances, incluant, leur connaissance, leur évaluation, leur prévision et leur maîtrise. Elles ont connu leurs premières applications dans des contextes à risque technologique fort (nucléaire, aéronautique...) à partir de 1960. Elles ont ensuite été développées dans les années 1980 dans l'industrie de production.

Les méthodes d'analyse des risques ne sont que des outils d'aide à la réflexion et en ce sens, leur qualité est fortement liée à leurs conditions de mise en œuvre. Il est donc indispensable de se pencher brièvement sur les raisons qui justifient l'utilisation de telles méthodes.

Il existe un grand nombre d'outils dédiés à l'identification des dangers et des risques associés à un procédé ou une installation; tels que MADS-MOSAR, AMDEC, HAZOP, APR...etc. D'une manière générale, le choix de retenir un outil particulier d'analyse des risques s'effectue à partir de son domaine d'application et de ses caractéristiques.

L'ingénieur du génie civil connaît l'existence du risque, il prend des précautions et néanmoins l'accident est parfois là, souvent bénin mais quelque fois grave car le risque est difficile à mesurer. La compétence de l'ingénieur s'exerce dans un contexte incertain ; incertitude de comportement et les conditions de mise en œuvre des matériaux, incertitudes sur l'environnement, incertitudes sur les conditions extrêmes d'exploitation des ouvrages.

Dans le contexte des barrages, les travaux de recherche réalisés ces dernières décennies ont développé des approches physiques, fonctionnelles ou statistiques, et des méthodes puissantes ont été mise au point : modélisation des lois de comportement, calculs par éléments finis, modèles statistiques, études de sûreté de fonctionnement...etc. A partir de données abondantes (auscultation, essais...) et appuyées par l'analyse experte, ces approches sont performantes pour le diagnostic et l'analyse des risques approfondis des barrages.

Pour cela la prise en compte des risques lors de la conception, au stade de l'étude, aux cours de la réalisation et pendant l'exploitation, est le moyen de prévention contre les dommages liés aux risques. L'ingénieur est confronté, aujourd'hui, à l'augmentation du coût pour justifier son ouvrage face au risque ; mais les pertes humaines et financières sont beaucoup plus importantes en cas d'incident.

L'objectif de notre travail est d'appliquer la méthode MADS-MOSAR sur le projet de barrage ; pour maître en place une stratégie de réponse face aux différentes sources de danger affectant le projet pendant son cycle de vie. Aussi pour prendre la décision afin de minimiser et maîtriser les risques pour atteindre une meilleure qualité.

Ainsi, notre mémoire comporte, après une introduction générale, quatre chapitres répartis qui constituent deux phases principales du travail : une phase bibliographique et une phase d'application des outils et méthodes présentées.

Le premier chapitre fait le point sur les barrages en général. Il nous renseigne sur les rôles, les fonctions des barrages ainsi que l'évolution, l'avenir aussi que sur les différents types de barrage.

Le deuxième chapitre fait un panorama sur les risques dans les barrages après une notion sur le concept de risque et définitions. Ainsi une présentation du management de risque projet (méthodes, processus et normes) avec un survol sur les outils et méthodes de maîtrise des risques.

Le troisième chapitre consiste à présenter notre cas d'étude à savoir : le projet de barrage voûte mince d'oued Taht (Wilaya de Mascara). Ainsi une approche systémique et fonctionnelle y seront développés en montrant leur importance dans la gestion des risques.

Le quatrième et le dernier chapitre de ce mémoire consiste à appliquer la méthode MADS-MOSAR à notre cas. Toutes les étapes seront passées en revue dans le but de mettre en œuvre les mesures nécessaires pour gérer et manager les événements non souhaités.

Enfin, nous achèverons ce mémoire par une conclusion générale qui présente des recommandations pour la prise en compte des risques dans le projet de barrage , ainsi que quelques perspectives futures à investiguer et à développer dans cette thématique.

CHAPITRE 1

GENERALITE SUR LES BARRAGES

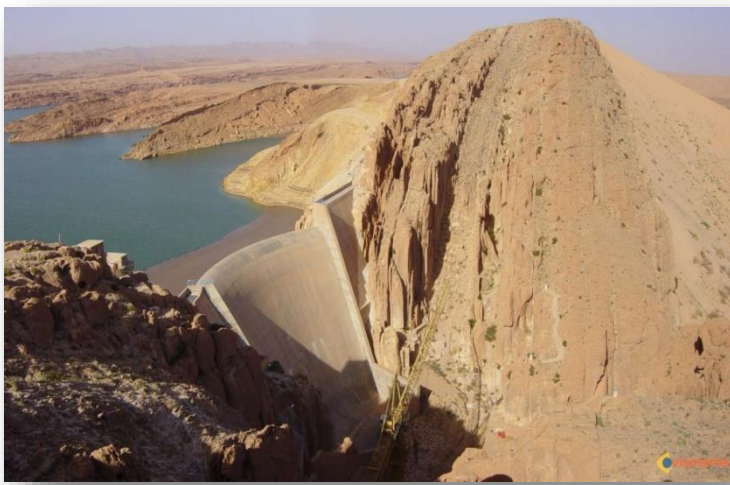


Figure 1.2. Barrage voûte de **Brezina El bayadh (Algérie)** mis en service en 2001. Sa hauteur est de 35 m.
(Tiré de : www.visoterra.com)

*« Pour apprendre quoi
que ce soit, commencer
par y trouver un sens. »*

Seymour Papert

1.1. INTRODUCTION

La question qui se pose est pourquoi avons-nous besoin de barrages ?

Historiquement, les barrages furent construits afin de répondre à un seul problème: l'approvisionnement en eau et l'irrigation. Avec le développement des civilisations, les besoins furent plus importants et plus nombreux, ajoutant aux précédents la nécessité de contrôler les crues, la navigation, la qualité de l'eau, le contrôle des sédiments et l'énergie. Par conséquent des barrages ont été construits pour répondre à ces besoins spécifiques.

Un Barrage est la pierre angulaire dans le développement et la gestion des ressources hydrauliques. Les barrages polyvalents sont des projets très importants pour les pays en développement, puisqu'un seul investissement permet aux populations de recevoir des bénéfices à la fois domestiques et économiques.

Ainsi, les barrages sont des ouvrages de génie civil singuliers par bien des points :

- Ce sont des structures complexes qu'il faut traiter comme des systèmes. Leurs études et réalisation prennent en compte un grand nombre de paramètres et de données. Chaque barrage doit être considéré comme un prototype. Aucune procédure bien définie pour déterminer la meilleure solution n'existe. La démarche est pragmatique, évolutive, systématique et récursive. Elle fait appel à de nombreuses hypothèses qui sont au fur et à mesure perfectionnées et vérifiées.
- Le comportement d'un barrage durant son cycle de vie est complexe. Il dépend de plusieurs phénomènes et facteurs plus ou moins bien définis : la modification des caractéristiques des matériaux (vieillessement), la tenue de la fondation (souvent partiellement connue), les conditions météorologiques et thermiques (variables), les effets chimiques de l'eau, les sollicitations sismiques (imprévisibles), les risques hydrologiques et le mode d'exploitation de la retenue. Cette complexité est maîtrisée par la mise en œuvre de modèles appropriés pour l'ouvrage lui-même et pour sa fondation, ainsi que pour les influences que subit l'ouvrage de la part de son environnement.
- Finalement, les exigences quant à la sécurité des barrages sont extrêmes. Elles sont présentes dans toutes les phases d'un projet : la planification, la conception, la

réalisation et l'exploitation. La période d'exploitation est certainement la plus sensible en termes de sécurité des populations. Pour cette raison, quasiment tous les pays du monde ont prescrit des règles institutionnelles pour la surveillance des ouvrages par un contrôle permanent et l'analyse du comportement.

Donc, dans ce premier chapitre, nous présentons quelque point essentiel pour une meilleure compréhension du concept des barrages.

1.2. DÉFINITION

Les barrages sont, par définition, des ouvrages hydrauliques qui barrent sur toute la largeur une section d'une vallée et créent ainsi une cuvette artificielle géologiquement étanche. De manière générale et dans la plupart des cas, la hauteur du barrage dépasse le niveau d'eau atteint par les cours d'eau en période de forte crue.

Fondamentalement, les barrages ont deux effets caractéristiques :

- La retenue d'eau créée par la présence du barrage peut le plus souvent contenir une part importante des apports d'eau directs ou dérivés, de même que des matériaux charriés, de la glace ou de la neige.
- Le barrage surélève le niveau du plan d'eau à l'amont.

Au sens de la CIGB, un ouvrage d'accumulation englobe un barrage (ouvrage de retenue) et une retenue (ou bassin d'accumulation). Par ailleurs, la sécurité des ouvrages d'accumulation prend également en compte les fondations du barrage et les flancs du bassin d'accumulation.

1.3. RÔLE DES BARRAGES

La plus part des barrages sont à but unique, mais il y a un nombre grandissant de barrages polyvalents. D'après les publications les plus récentes du Registre Mondial des Grands Barrages l'irrigation est de loin la raison la plus courante pour construire un barrage. Parmi les barrages à but unique, 48% sont pour l'irrigation, 17% pour l'hydro-électricité, 13% l'approvisionnement en eau, 10% le contrôle des crues, 5% pour les loisirs et moins de 1% pour la navigation et la pisciculture (CIGB, 2011).

1.3.1. L'irrigation

Aujourd'hui, les terres irriguées couvrent environ 277 millions d'hectares soit 18% des terres arables du monde pourtant elles produisent 40% des récoltes et emploient 30% de la population dispersée dans les régions rurales. Du fait de l'importante croissance démographique attendue pour les prochaines décennies, l'irrigation doit être étendue afin d'augmenter la capacité de production. La CIGB estime que 80% de la production additionnelle de nourriture en 2025 viendra de terres irriguées. Même avec la diffusion des méthodes de conservation de l'eau et les améliorations des techniques d'irrigations, la construction de réservoirs supplémentaires sera nécessaire.

Tableau 1.1. Classification par surface irriguée (CIGB, 2014).

Nom Du Barrage	Année	Irrigation (Km ²)	Pays
BENI HAROUN	2005	400 000	Algeria
KILAVUZLU		95 750	Turkey
SUAT UGURLU	1981	82 707	Turkey
SUREYYABEY		66 165	Turkey
GOMAL ZAM DAM	2013	66 000	Pakistan
BAHCELIK	2005	49 033	Turkey
DERBENT	1991	47 727	Turkey
XIAOLANGDI	2001	26 667	China
ADATEPE		26 323	Turkey
HIGH ASWAN DAM	1970	24 000	Egypt
CHANGLING	1979	23 000	China
ALMUS	1966	21 350	Turkey
AKBASLAR	2007	20 746	Turkey
SANMENXIA	1960	20 010	China
KONGZIHE	1965	18 000	China
GELINGULLU	1994	16 994	Turkey
LIANGHEKOU	1960	16 660	China
BAIGUOWAN	1971	16 660	China
AGCASAR	1987	15 035	Turkey
LUCHENGHE	1975	13 300	China

1.3.2. Hydro-électricité

Les usines de production d'énergie hydro-électrique fournissent généralement entre plusieurs centaines de kilowatts et plusieurs centaines de mégawatts, certaines usines immenses peuvent produire près de 10 000 mégawatts afin d'approvisionner en électricité plusieurs millions de personnes. Les usines de production d'énergie hydro-électrique ont une capacité mondiale combinée de 675 000 mégawatts. Elles produisent 2,3 trillions de kilowatts d'électricité par heure, approvisionnant 24% des besoins en électricité mondiaux.

L'électricité générée par les barrages est de loin la plus grande source d'énergie renouvelable au monde. Plus de 90% de l'électricité renouvelable du monde provient des barrages. L'hydro-électricité offre aussi la possibilité unique de gérer les réseaux électriques grâce à sa capacité de produire rapidement en fonction des pics de demande. Les usines de pompage-turbinage, utilisent l'énergie produite pendant la nuit, lorsque la demande est basse, pour pomper l'eau jusqu'au réservoir supérieur. Cette eau est utilisée plus tard pour produire de l'électricité, en période de pointe. Ce système constitue aujourd'hui le seul moyen de stocker de l'électricité de façon économique.

D'après notre recherche et selon la ANBT, actuellement en Algérie il n'y a aucun barrage qui est utilisé comme source de production d'énergie électrique.

Tableau 1.2. Classification par capacité de production énergétique installée (CIGB, 2014).

Non du barrage	année	capacité installée (Mw)	Energie (GWh/an)	pays
INGA III		40 000		Congo (Dem. Rep. of)
FAXINAL II		31 947		Brazil
SANXIA	2010	18 200	84 900	China
DNIEPER	1947	15 031	4	Ukraine
ITAIPU	1991	14 000	90 000	Paraguay/Brazil
WANGJIAHE	2008	12 630	4	China
XILUODU (C)	2013	12 600	57 120	China
BELO MONTE	2011	11 234		Brazil
GURI	1986	10 000	52 000	Venezuela

Non du barrage	année	capacité installée (Mw)	Energie (GWh/an)	pays
GRAND COULEE	1942	6 809		United States of America
SAYANO SHUSHENSKAYA	1990	6 400	22 800	Russia (Russian Fed.)
QILINGUAN	2007	6 400	24	China
KRASNOYARSK	1967	6 000	19 600	Russia (Russian Fed.)
XIANGJIABA (C)	2015	6 000	30 130	China
ROBERT-BOURASSA	1979	5 616	37 400	Canada
LONGTAN	2010	5 400	18 710	China
HIDASE (C)	2017	5 250		Ethiopia
FENGYAN	2008	5 200	1	China
BRATSK	1964	4 500	22 500	Russia (Russian Fed.)
BOCA DEL CERRO		4 200		Mexico

1.3.3. Distribution d'eau pour usages domestiques et industriels

Il a été souligné combien l'eau était essentielle pour notre civilisation. Il est important de se rappeler que les précipitations vont en grande partie dans les océans et mers et qu'une grande proportion de celles qui tombent sur les terres s'écoulent aussi jusqu'aux étendues salées. Seulement 2% du total des précipitations s'infiltrent et approvisionnent les nappes phréatiques. Les barrages planifiés, conçus, construits et entretenus correctement pour stocker l'eau contribuent largement à répondre à nos besoins d'approvisionnement en eau. Pour ajuster les variations des cycles hydrologiques, les barrages et réservoirs sont nécessaires pour stocker l'eau et approvisionner avec régularité lors de pénurie (CIGB, 2014).

1.3.4. Navigation fluviale

Du fait des conditions naturelles, les rivières subissent des modifications de débit, niveau, formation de glace, du cours du lit dû à l'érosion et la sédimentation, cela cause des problèmes et obstacles pour la navigation fluviale. Cependant la navigation fluviale a des avantages notables par rapport aux transports routiers et ferroviaires. Chaque barge peut transporter d'importantes charges, les cargaisons peuvent être de grandes dimensions et la consommation d'essence est minime comparée aux autres modes de transport.

Le développement de la navigation fluviale résulte de l'aménagement accompli de bassins, barrages, écluses et réservoir qui sont régulé afin de réaliser des économies régionales et nationales. En plus des bénéfices économiques; ce système et les activités des loisirs en découlant réduisent l'érosion, stabilise le niveau des nappes phréatiques.

1.3.5. Contrôle des crues

Les barrages et réservoirs peuvent être utilisés pour réguler le niveau des rivières et réguler efficacement le débit ascendant en stockant temporairement l'eau et en la relâchant plus tard. La méthode la plus probante pour réguler le débit est la mise en œuvre d'un système intégré de gestion de l'eau qui contrôle le stockage et les relâches des principaux barrages d'un bassin fluvial. Chaque barrage est réglé selon un programme spécifique fixé sur le débit habituel afin de contrôler les flux d'eau sans causer de dommage. Pour cela, il faut diminuer le niveau du réservoir pour faire plus de capacité de stockage lors des saisons pluvieuses. Cette stratégie élimine les crues.

Le nombre de barrages et leur système de gestion d'eau sont établis à travers une planification complète en faveur du développement économique et de l'implication du public. Le contrôle des crues est un des objectifs principaux de la plupart des barrages existant et en cours de construction.

Tableau 1.3. Classification par volume disponible pour la protection contre les crues (CIGB, 2014).

Nom du barrage	Année	Capacité de stockage (hm ³)	pays
MIRANI DAM	2007	588 690	Pakistan
NECHRANICE	1968	51 765	Czech Republic
ATATURK	1992	50 000	Turkey
HIGH ASWAN DAM	1970	47 000	Egypt
KEBAN	1974	31 001	Turkey
NOVÉ MLÝNY	1989	26 130	Czech Republic
SABAKZAI DAM	2007	23 638	Pakistan
VRANOV	1939	21 188	Czech Republic
JESENICE	1961	20 450	Czech Republic
ROZKOŠ	1970	15 337	Czech Republic
DOCTOR GABRIEL TERRA	1946	9 036	Uruguay

Nom du barrage	Année	Capacité de stockage (hm ³)	pays
VÍR 1	1959	8 337	Czech Republic
LES KRÁLOVSTVÍ	1919	5 698	Czech Republic
BREZOVÁ	1937	4 123	Czech Republic
SKALKA	1964	3 636	Czech Republic
SALTO GRANDE	1979	3 316	Argentina/Uruguay
BYSTRICKA	1912	3 025	Czech Republic
PASTVINY	1939	2 537	Czech Republic
PLUMLOV	1932	2 486	Czech Republic
FLÁJE	1963	1 829	Czech Republic

1.4. LES FONCTIONS DES OUVRAGES ACCUMULATION

L'eau est un élément vital, mais peut aussi présenter un potentiel destructeur. C'est pourquoi, les ouvrages d'accumulation peuvent être répartis en deux catégories principales selon l'objectif recherché :

- Le stockage de l'eau en vue d'une utilisation ultérieure ;
- La protection contre les eaux et les matériaux charriés.

Le tableau 1.4. dresse l'inventaire de différentes fonctions principales possibles des retenues. Dans le cas d'une combinaison de deux ou plusieurs affectations, on parle alors d'aménagements à buts multiples.

Tableau 1.4. Inventaire des affectations principales d'un ouvrage d'accumulation (CSB, 2000)

Eau élément vital Stockage de l'eau	Eau élément destructeur Ouvrage de protection
Production d'énergie électrique	Bassin de rétention contre les crues (inondation, érosion)
Approvisionnement en eau potable et Industrielle. Protection incendie	Digue pour la protection contre les crues
irrigation	Bassin de rétention de sédiments charriés
Pêche, pisciculture (élément économique essentiel dans certains pays)	Barrage de correction de torrent
production de neige artificielle	Ouvrage de protection contre les avalanches
soutien d'étiage (garantie d'un débit minimal)	Régulation des lacs
Navigation fluviale (garantie d'un débit minimal)	Rétention des glaces en pays nordiques

Il faut aussi relever qu'un réservoir artificiel modifie localement le bilan hydrique dans un bassin versant. Le débit est donc Influencé et réglé par les objectifs d'utilisation et de protection.

De nos jours dans le monde, près de 50 000 barrages (hauteur > 15 m) créent des retenues dont le volume total est de 6000 km³ dont 3600 Km³ sont directement utilisés pour la régulation des apports. Pour comparaison, le volume global stocké dans tous les cours d'eau dans le monde est de l'ordre de 1000 à 2000 km³ Par conséquent, les réservoirs artificiels jouent un rôle important dans l'approvisionnement en eau visant à satisfaire les besoins vitaux de l'homme en énergie, nourriture, eau et transport (CSB, 2000).

1.5. LES PARTICULARITES DE LA CONSTRUCTION DES BARRAGES

De par leurs dimensions et les impacts sur l'environnement qu'ils occasionnent, les barrages sont des structures exceptionnelles, dont les modes de réalisation sont parfois très éloignés des autres structures du génie civil.

En premier lieu, les études préliminaires sont particulièrement importantes et coûteuses. Elles traitent d'un éventail très vaste de domaines : l'hydrologie, la géologie, l'hydrogéologie, l'hydraulique, la science des matériaux, la topographie, le génie civil, la géographie, la biologie, la chimie, l'économie rurale, l'économie énergétique, l'économie hydraulique, la sociologie, le droit public, la politique de développement, les finances, et bien d'autres domaines. Ces études se distinguent souvent par leur durée, atteignant souvent plus d'une dizaine d'années.

Associés à ces études, des travaux de reconnaissance approfondie doivent aussi être entrepris : relevés topographiques, reconnaissances géologiques (géophysique, sondages, galeries de reconnaissance), essais géotechniques (puits, essais in situ et en laboratoire).

L'analyse des impacts sur l'environnement est entreprise très tôt pour évaluer les différentes solutions, puis pour prendre des mesures de limitation des impacts ou de compensation.

Les moyens nécessaires pour la réalisation posent de véritables problèmes de logistique et d'organisation de chantier. Il faut notamment tenir compte dès le début des études des accès, de l'approvisionnement, des installations de chantier, des équipements, de la qualification de la main-d'œuvre de la durée du chantier et de bien d'autres paramètres propres à tel ou tel site.

En outre, la démesure des quantités de matériaux nécessaires a une influence considérable sur la durée, les moyens à mettre en œuvre et sur les paramètres techniques du projet. Il ne s'agit pas, comme avec d'autres types de structures, de trouver des matériaux satisfaisant aux critères ou normes fixés comme données du projet, mais de définir un ouvrage pouvant être réalisé avec les caractéristiques des matériaux à disposition. Ainsi, chaque barrage est unique parce que réalisé avec des matériaux qui lui sont propres.

Un chantier de barrage dure plusieurs années. Les différents travaux doivent être exécutés dans une séquence précise, souvent conditionnée par les conditions hydrologiques et météorologiques. Ces conditions impliquent un découpage des travaux en phases selon les moyens disponibles. Ce découpage peut avoir une influence directe sur le projet.

Enfin, il faut mentionner que quel que soit le type de barrage, les exigences relatives à la sécurité sont primordiales durant toute la vie de l'ouvrage. Les barrages sont continuellement auscultés et soumis à une surveillance attentive. Les résultats de l'auscultation et les observations de la surveillance sont constamment analysés dans le cadre des procédures de contrôle.

1.6. L'EVOLUTION ET L'AVENIR DES BARRAGES

1.6.1. Construction des barrages à travers les âges

Les premiers barrages importants sont nés avec les premières civilisations de l'Antiquité, en particulier dans la vallée du Nil, en Mésopotamie, en Chine et en Asie du Sud. Ce sont certainement les traces de ces anciennes civilisations que les archéologues retrouvent le plus facilement.

Les plus vieux vestiges connus proviennent du barrage de Sadd-el Kafara réalisé en Egypte entre 2950 et 2750 avant J.C. Cet ouvrage, d'une hauteur de 14 m et d'une longueur de 113 m au couronnement, avait été conçu avec une partie centrale comprenant des matériaux meubles remblayés (sable bilieux et graveleux) et deux recharges en enrochements. L'eau stockée dans un réservoir d'une capacité de 0,5 million de m³ pendant les crues servait pour l'irrigation en période sèche.

La construction du barrage de Marib au Yémen commença en 750 avant J.C. et dura 100 ans. Ce barrage se composait d'un remblai en terre de 4 mètres de haut et d'orifices en pierre pour réguler les écoulements pour l'irrigation et pour les besoins domestiques. En 1986, ce barrage a été rehaussé à une hauteur de 38 mètres, permettant ainsi de créer un réservoir de 398 millions de mètres cube d'eau.

Au Sri Lanka, où la plus ancienne construction date de 380 avant J.C., on y trouvait des barrages en remblai homogène avec des pentes amont et aval faibles et un pavage assurait la protection du parement amont contre les vagues.

En Chine, un système des barrages et de canaux a été construit en 2280 avant J.C. Plusieurs barrages anciens datant du 13^{ème} au 16^{ème} siècle en Iran sont encore utilisés aujourd'hui.

Les Romains ont construit de simples murs en maçonnerie d'épaisseur constante et fondés sur rocher. En cas de stabilité insuffisante, les murs étaient renforcés par des contreforts ou des remblais à l'aval. Ils sont aussi à l'origine des premiers barrages-voûtes et à voûtes multiples.

Au Japon, de nombreux barrages en remblai homogène ont été construits dès le 6^{ème} siècle.

C'est en Europe, lors de la révolution industrielle du Moyen Age aux 11^{ème} et 12^{ème} siècles que se développe à grande vitesse la technologie de l'utilisation de la force hydraulique. En Europe centrale, quelques barrages en remblai destinés à la pisciculture ont été construits de 1298 à 1590. C'est dans la région minière du Harz en Allemagne que de nombreux barrages en remblai ont été érigés pour l'exploitation de la force hydraulique dès le 16^{ème} siècle. C'est dans cette contrée que les premiers barrages en remblai avec noyau central ont fait leur apparition dès 1715. A cette même époque, des barrages sont réalisés pour satisfaire à la demande en eau de la population, pour l'irrigation et la navigation tant en France qu'au Royaume Uni.

De nombreux barrages en remblai ont été réalisés aux USA dès le milieu du 16^{ème} siècle. Ces ouvrages ont connu des fortunes diverses, car plusieurs d'entre eux ont été détruits par submersion lors de crue. Le premier barrage en enrochement pour l'irrigation date de la fin du 16^{ème} siècle en Californie.

1.6.2. Le développement des barrages en Algérie

1.6.2.1. Brève historique sur les barrages en Algérie

le plus ancien ouvrage est le barrage de FERGOUG, construit de 1865 à 1871, était un barrage-poids en maçonnerie de 316 m de long, flanqué en rive droite d'un mur de 30 m faisant un angle de 120° avec l'ouvrage central, et en rive gauche d'un déversoir de 125 m de long faisant un angle de 35° avec le prolongement de l'axe du barrage.

Ce déversoir était fait de deux murs verticaux réunis par un glacis en pente; sa crête était à 1,60 m en contrebas de la plate-forme du barrage. la hauteur totale au-dessus du point le plus bas des fondations était de 43 m. La largeur maximum des fondations atteignait 33 m. La capacité totale de la cuvette était évaluée à 30 millions de m³.

Avant 1900, huit barrages furent construits, le barrage de SAINT-LUCIEN sur l'oued Tlélât au Sud-Est d'Oran, le barrage de KEF sur l'oued Tafina, le barrage de SIG sur la basse Mekerra, le barrage de SAINT-AIME sur l'oued Djidiouia, le barrage de CHEURFAS à Saint Denis du Sig, le barrage FERGOUG sur l'oued el hammam, le barrage MEURAD sur l'oued djabroun et le barrage de HAMIZ sur l'oued du Hamiz pour irriguer les deux extrémités de la Mitidja. Les barrages CHEURFAS, FERGOUG et HAMIZ ont tous trois subis de profondes modifications après 1900.

Ce plan de construction fut amplifié après 1900 par la réalisation finale d'une dizaine des grands barrages-réservoirs, le barrage de BAKHADDA sur l'oued Mina affluent du Cheliff, le barrage de BENI-BAHDEL sur l'oued Tafna, le barrage de BOU-HANIFIA sur l'Oued El Hammam, le barrage de la CHEFFIA sur l'oued Bou-Namoussa, le barrage de FOUM-EL-GHERZA sur l'oued El-Abiod et les barrages de FOUM-EL-GUEISS, GHRIB, MEFFROUCH, d'OUED-FODDA, d'OUED-SARNO, des ZARDEZAS.

Au total ces barrages réservoirs pouvaient contenir 800 millions de m³ ensuite porté à 900. Sur les 160.000 ha rendus irrigables, 50.000 ha étaient effectivement irrigués en 1962, le but était d'atteindre les 200.000 ha, autant que toutes les cultures fruitières et maraichères de cette époque.

Alors qu'en 1962 lors de la libération de l'Algérie, il n'existait que treize barrages permettant de stocker 450 millions de m³ d'eau destinée essentiellement à l'irrigation des plaines agricoles de l'Ouest du pays.

1.6.2.2. Constat sur la situation actuelle en Algérie

L'Algérie se situe, à l'instar des 17 pays Africains touchés par le stress hydrique, dans la catégorie des pays les plus pauvres en matière de potentialités hydriques, soit en dessous du seuil théorique de rareté fixé par la Banque Mondiale à 1000 m³ par habitant et par an.

Si en 1962, la disponibilité en eau théorique par habitant et par an était de 1500 m³, elle n'était plus que de 720 m³ en 1990, 680 m³ en 1995, 630 m³ en 1998, 500 m³ elle ne sera que de 430 m³ en 2020 La disponibilité en eau potable en Algérie en m³/Habitant/An dépassera légèrement le seuil des 400 m³/ha (norme OMS).

La situation actuelle en Algérie est encore exacerbée par plusieurs contraintes :

- Un déséquilibre entre les besoins et les ressources disponibles : la croissance démographique et le développement économique et social du pays ont induit durant les deux décennies écoulées, un accroissement considérable des besoins en eau potable, industrielle et agricole ;
- Un déséquilibre géographique entre les besoins et les ressources : la forte concentration des besoins en eau sur la bande littorale (60%) oblige à une réaffectation, par des transferts de ressources en eau assez coûteux financièrement, pour équilibrer les déficits de régions intérieures du pays, notamment toute la zone des Hauts Plateaux ;
- La pollution des nappes et des ressources superficielles : les rejets domestiques, industriels et agricoles dépassent de loin les capacités des systèmes d'épuration, ce qui réduit considérablement les volumes d'eau susceptibles d'être utilisés ;
- Risque de rupture d'un développement durable : en sus de la pollution, de sérieux problèmes apparaissent dans les prélèvements effectués dans les nappes souterraines qui dépassent les limites de renouvellement des ressources naturelles et nécessitent de puiser dans les réserves non renouvelables.

La faiblesse des ressources est encore aggravée par :

- La mauvaise répartition spatiale et temporelle de ces ressources ;
- L'érosion des sols et l'envasement des barrages ;
- Les pertes dues à la vétusté des réseaux de distribution et à l'insuffisance de la gestion;
- Les coûts sans cesse importants des investissements nécessaires à la mobilisation et au transfert des ressources en eau.

1.6.2.3. Politique des eaux en Algérie

Le pays est divisé en 5 bassins hydrographiques regroupant (figure 1.3.). Les ressources en eau ne sont pas réparties équitablement, que ce soit au niveau de leur répartition géographique, de leur quantité ou de leur nature (eaux de surface ou souterraines).



Figure 1.3. Les cinq bassins hydrographiques de l'Algérie
(MOZAS M. & GHOSSEN A., 2013)

La stratégie de l'eau consiste en des programmes quinquennaux visant à réaliser les objectifs de la politique nationale de l'eau : Cette politique de développement vise deux objectifs :

- la sécurisation de l'alimentation en eau potable des populations ;
- Amélioration du taux de sécurité alimentaire par les possibilités offertes au maintien et à l'extension des superficies irriguées.

Afin de s'assurer les ressources en eau nécessaires, le secteur de l'eau envisage de transférer une partie des eaux de barrages de la zone côtière vers la zone de l'Atlas Tellien, dont l'excédent sera alors à son tour transféré vers les Hauts Plateaux. Le déficit de la zone côtière devrait alors être compensé par le dessalement de l'eau de mer et l'économie de l'eau.

Le déficit restant de la zone des Hauts Plateaux sera compensé également par un éventuel transfert des eaux du Sahara (nappe de l'Albien). De même, il est envisagé une large réutilisation des eaux usées épurées au bénéfice de l'irrigation et de l'industrie.

Janvier 2014, Le ministère des Ressources en eau M^r Hocine Necib a annoncé que : « l'Algérie compte 67 barrages en exploitation de grande et moyenne envergures, avec une capacité de 7 milliards de mètres cubes. 14 sont en cours de réalisation totalisant une capacité globale de 8,9 milliards de mètres cubes et 50 autres barrages à l'étude dans 30 nouveaux barrages d'une capacité de 1,5 milliard de m³, seront réalisés au cours du prochain quinquennat (2015-2019) et les autres 20 barrages devraient être réalisés avant 2020 ». (*Ait Allouache k.*, journal El moudjahid, publié-le : 20-01-2014)

1.6.2.4. Les différentes agences du secteur de l'eau en Algérie

Le ministère des ressources en eau (MRE) est l'autorité centrale responsable de l'élaboration et de la mise en œuvre de la politique nationale de l'eau et dispose de relais déconcentrés au niveau local avec les directions des ressources en eau de wilaya (DREW).

En 2001 des réformes institutionnelles ont modifié en profondeur les établissements publics à compétence nationale qui sont sous la tutelle du MRE :

- l'Agence nationale des ressources hydrauliques (ANRH) est chargée d'étudier et d'évaluer les ressources en eaux et en sols irrigables ;
- l'Agence nationale des barrages et transferts (ANBT) est responsable de mobiliser et de transférer les ressources en eau vers les lieux d'utilisation ;
- l'Algérienne des eaux (ADE) a pour mission de gérer tout le processus d'alimentation en eau potable et industrielle y compris la mise en œuvre des programmes annuels et pluriannuels d'investissements ;
- la gestion et le développement des infrastructures d'assainissement urbain sont la prérogative de l'Office national de l'assainissement (ONA) ;
- l'Office national de l'irrigation et du drainage (ONID) est chargé de gérer les périmètres d'irrigation que l'Etat et les collectivités locales lui concèdent; dans ce cadre, l'Office a également pour tâche de mettre en œuvre des stratégies pour rationaliser l'usage de l'eau d'irrigation.

Créé par décret en 2008, le Conseil national consultatif des ressources en eau constitue le nouveau cadre de coordination institutionnelle sur les différents aspects de la politique de l'eau.

L'autorité de régulation des services publics de l'eau créée par décret en 2008 a pour prérogatives d'évaluer les services d'eau et d'assainissement fournis aux usagers, à contrôler leurs coûts et les tarifs.

1.6.3. Les barrages aujourd'hui

Selon la publication de la CIGB Des barrages et de l'eau dans le monde (2007), on estime à plus de 50 000 le nombre de grands barrages en service (critères : $H > 15\text{m}$; $10\text{ m} < H < 15\text{ m}$ et volume de retenue supérieur à 3 millions de m^3). Il faut noter que leur répartition géographique est très irrégulière. Près de 50 % de tous les barrages de plus de 15 m de hauteur se trouvent en Chine. Un tiers se trouve dans les pays industrialisés d'Europe, d'Amérique du Nord et au Japon alors que le reste du monde, principalement les pays en développement, se partage les 15% restants. Ces derniers pays, tel que le Brésil, avec leur démographie en expansion et leurs besoins de plus en plus importants en irrigation et en ouvrages de protection, présentent aujourd'hui un potentiel gigantesque.

Toujours selon les statistiques de la CIGB, 92 % du parc mondial des grands barrages ont une hauteur inférieure à 60 m, 62 % moins de 30 m de hauteur et seulement 2 % plus de 100 m de hauteur.

Aujourd'hui, la construction de grands barrages fait l'objet d'efforts très importants de la part de certains pays (Tableau 1.5.) ;

Les pays avec la plus grande activité de constructions de barrages sont la Chine, l'Iran, la Turquie et le Japon. En Europe, c'est l'Espagne, l'Italie et la Roumanie qui construisent le plus grand nombre de barrages. C'est également dans ces pays que se situent le plus grand nombre d'ouvrages du fait de la nécessité de réguler les apports hydrologiques pour l'irrigation.

Tableau 1.5. Barrage en construction dans le monde, état au début 2010. (hydropower & dams, 2010)

Hauteur > 60 m			Hauteur > 150 m		
classement	pays	Nombre des barrages	classement	pays	Nombre des barrages
1	Chine	85	1	Chine	14
2	Iran	42	2	Iran	6
3	Japon	24	3	Turquie	3
	Turquie	24			
	Vietnam	24			
4	Myanmar	11	4	Laos	3
5	Inde	10	5	Malaisie	2
				Mexique	2
				Myanmar	2
				Ethiopie	2
				Colombie	2
6	Brésil	9	6	Inde,	
	Maroc	9		Ouzbékistan,	
				Vietnam, Porto-Rico,	
				Equateur, Venezuela	
7	Espagne	7			
	Italie	7			
9	Arabie saoudite	5			
	Grèce	5			
Total monde		350	Total monde		57

1.7. LES DIFFERENTS TYPES DE BARRAGES

Selon la nature du matériau de construction utilisé, on classe les barrages selon deux grandes catégories :

- Les barrages en béton,
- Les barrages en remblai (digues).

Certains anciens barrages, datant pour la plupart du 12^{ème} siècle, ont été réalisés en maçonnerie. Ils sont en règle générale assimilés aux barrages en béton. Car par leur forme, ils peuvent presque toujours être classés parmi les barrages -poids.

A cette classification, on peut ajouter les barrages hybrides ou composés. En effet, certains grands barrages peuvent comprendre des sections en béton et en remblai mises côte à côte. L'exemple fréquent est celui d'une construction en béton comportant un évacuateur de crue flanqué de barrages en remblai soit d'un côté soit de part et d'autre.

Dans d'autres cas, La section de l'ouvrage est constituée de plusieurs types de matériaux. Il existe aussi des barrages où un remblai vient s'appuyer sur un mur en maçonnerie. En outre, il faut mentionner les barrages de retenue pour le stockage de stériles miniers. Ils sont constitués de remblais successifs dont les matériaux utilisés (sol naturel, stérile minier, débris de roche) sont de qualité variables.

1.7.1. Les barrages en béton et en maçonnerie

A part quelques exceptions (p. ex. barrages en rivières), les barrages en béton sont le plus souvent fondés sur une fondation rocheuse. De module de déformation élevé. Comme l'illustre la (figure1.4.), on distingue trois grandes familles de barrages en béton, chacune comportant un certain nombre de sous-familles.

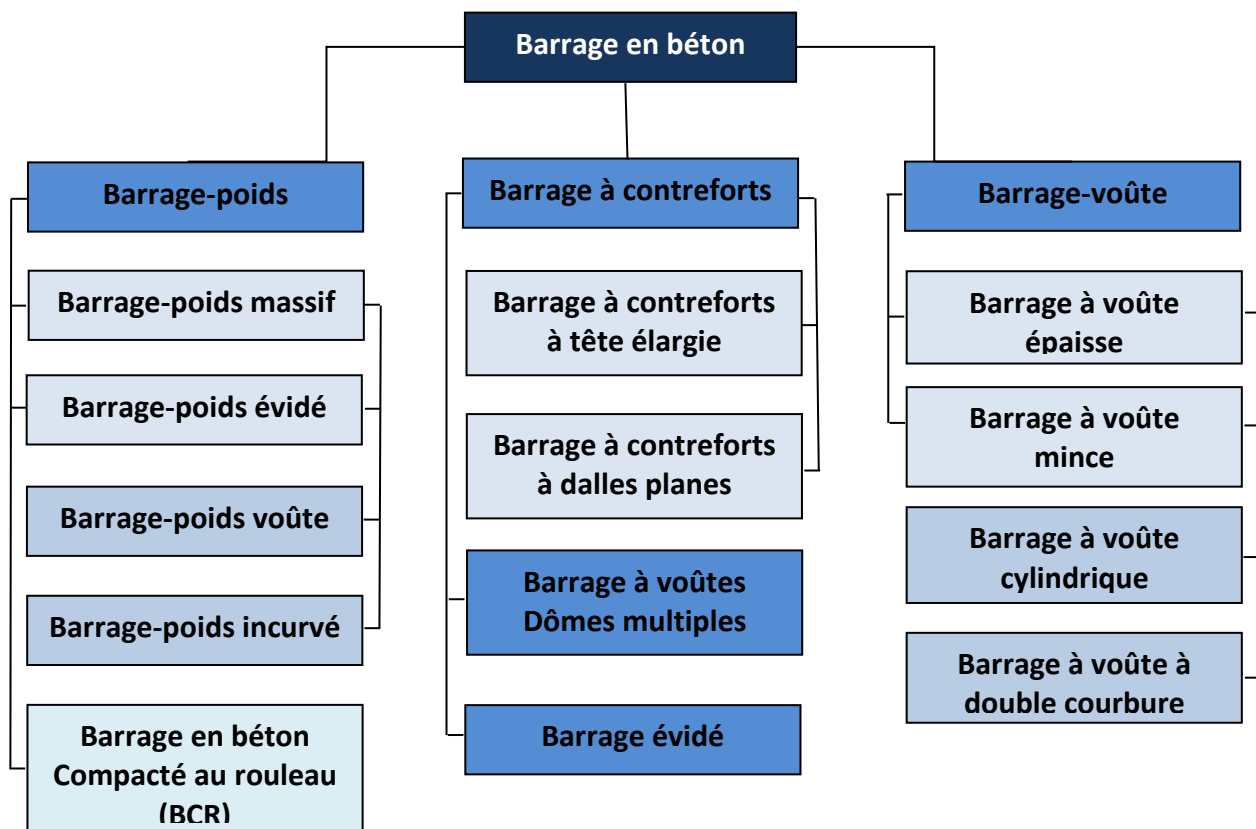


Figure 1.4. Les familles des barrages en béton (SCHLEISS A.J. & POUGATASCH H., 2011).

Les trois types de barrages en béton se distinguent par leur forme, la nature de leur système statique et leur manière de s'opposer à la poussée de l'eau.

- Le barrage-poids, comme son nom l'indique, résiste à la poussée de l'eau par son propre poids. Le barrage-poids est constitué d'éléments massifs juxtaposés, nommés plots. Dans le but de réaliser une économie de béton, il est possible d'aménager des alvéoles entre les plots, dans ce cas on parle de barrage-poids évidé. Une autre solution consiste à concevoir un barrage-poids voûte dont la stabilité est assurée en partie par son poids propre et en partie par ses appuis sur les rives.
- Le barrage à contreforts résiste également à la poussée de l'eau par son poids propre, mais un certain nombre de dispositions permettent de diminuer le volume de béton par rapport au barrage-poids. Ce type de barrage est formé d'éléments juxtaposés, nommés contreforts, dont la géométrie est complexe. Chaque contrefort est constitué d'un masque continu à l'amont et d'une âme et reprend l'effort exercé par la poussée de l'eau. Les contraintes dans le corps du barrage et au contact avec la fondation sont plus élevées que pour un barrage-poids de même hauteur. Le barrage à voûtes multiples entre aussi dans la catégorie des barrages à contreforts.
- Le barrage-voûte est une structure tridimensionnelle agissant comme un voile ou une coque. Il présente une forte courbure en plan et transmet une partie importante des efforts sur les flancs de la vallée. Lorsque toutes les conditions nécessaires sont réunies, il permet d'économiser un volume important de béton par rapport aux deux types précédents.

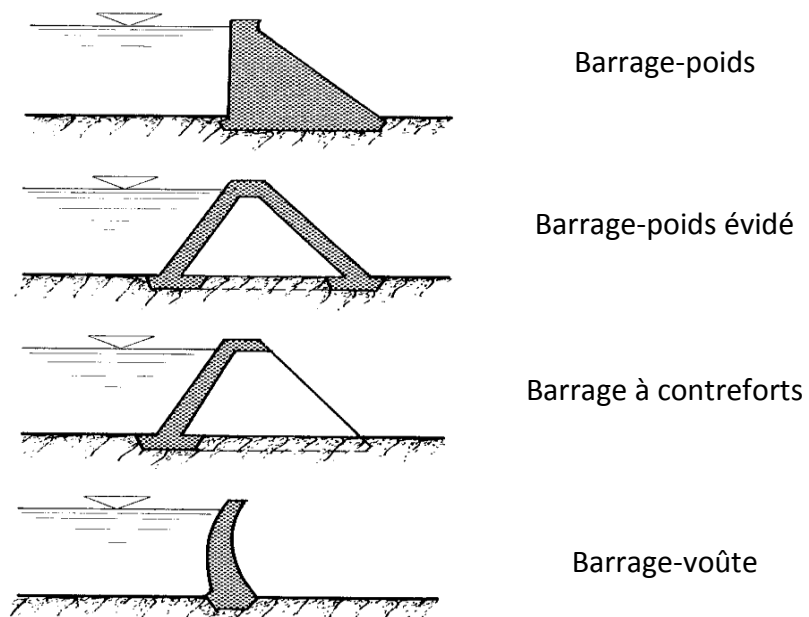


Figure 1.5. Coupes-type des barrages en béton (SCHLEISS A.J. & POUGATASCH H., 2011).

Les barrages en béton ont des points communs. D'une part, l'ouvrage est constitué de béton de masse, non armé, mis en place à une cadence élevée avec des moyens fortement mécanisés. D'autre part, de manière générale, la géométrie est optimisée de sorte à éviter l'apparition de tractions dans le béton en quelque point que ce soit de l'ouvrage pour des conditions normales d'exploitation. Cependant, des contraintes de traction ou l'apparition de fissures ne mettant pas en cause l'intégrité structurale peuvent être tolérées en cas de charges exceptionnelles, tel un séisme.

Les barrages en béton, quel que soit leur type, sont construits en plots (ou blocs) individuels de 12 à 19 m de largeur séparés par des joints de contraction. L'épaisseur du barrage fixe la dimension du plot dans la direction longitudinale (entre 3 et 30 m). Chaque plot est bétonné en levées de 1.5 à 3.5 m (figure 1.6.)

Ce mode de construction permet de :

- Faciliter le bétonnage en adaptant le volume des étapes à la production journalière,
- Contrôler et faciliter le dégagement de la chaleur d'hydratation,
- Éviter la fissuration de retrait en permettant l'ouverture des joints.

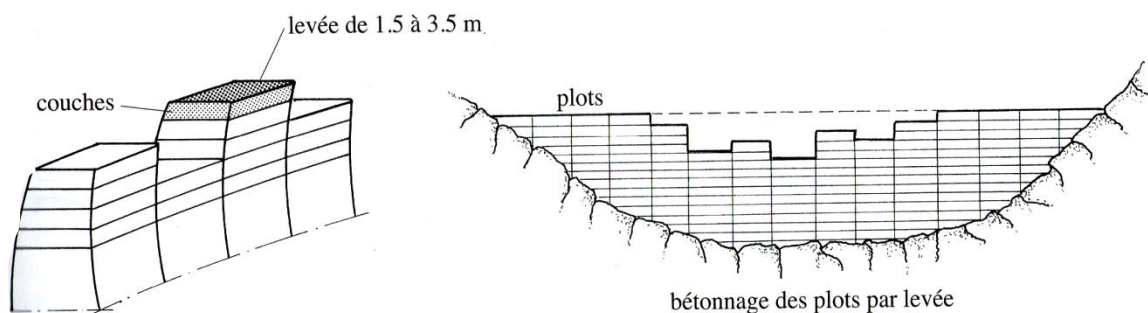


Figure 1.6. Etapes de bétonnage (SCHLEISS A.J. & POUGATASCH H., 2011).

Aussi, dans le cas de barrages en béton dont les sections sont relativement « minces » et l'effet de la température sensible (p.ex. les barrages à voûtes multiples, barrages prises d'eau ou évacuateurs de crues), le recours à des armatures peut se révéler nécessaire.

1.7.2. Les barrages en remblai

Les barrages en remblai (digues) sont constitués essentiellement de matériaux granulaires naturels meubles prélevés à proximité immédiate de l'ouvrage. On distingue deux catégories de barrages en remblai (figure 1.7.) :

- Les barrages en terre, réalisés essentiellement à partir de sols naturels meubles prélevés dans des gravières ;
- Les barrages en enrochements, dont la majeure partie est constituée de matériau de carrière concassé.

Comme pour les autres types de barrages, les barrages en remblai doivent répondre à deux fonctions essentielles : la fonction statique, qui consiste à transmettre à la fondation la poussée de l'eau retenue à l'amont et la fonction de coupure étanche.

Les sols meubles des barrages en terre peuvent, selon leurs caractéristiques géotechniques, être suffisamment imperméables pour suffire aux deux fonctions. Il existe de ce fait un grand nombre de barrages (ou de digues) en terre homogène.

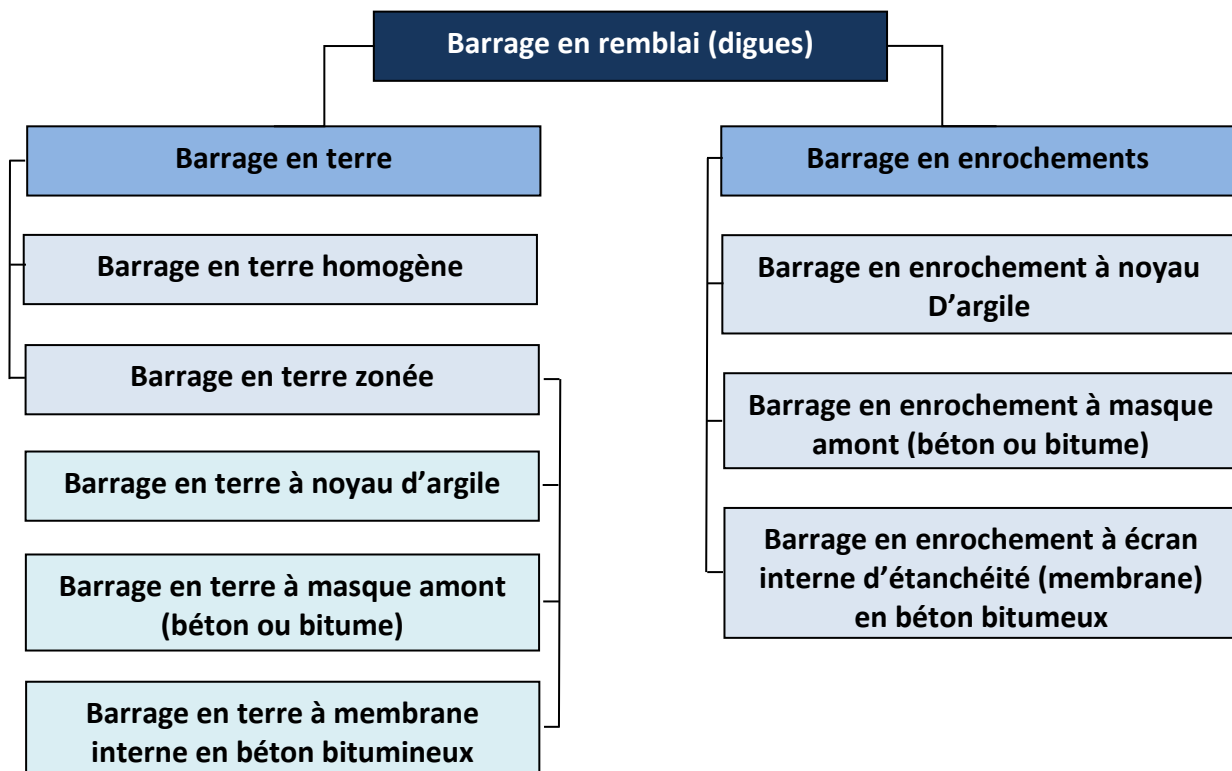


Figure 1.7. Les types de barrages en remblai (SCHLEISS A.J. & POUGATASCH H., 2011).

Lorsque la perméabilité du sol d'emprunt principal est trop importante, la solution consiste à, concevoir un barrage en remblai zoné, c'est-à-dire constitué de plusieurs matériaux répartis par zones dans le corps du barrage.

Les matériaux de carrière avec lesquels sont constitués les barrages en enrochements sont toujours perméables (à des degrés divers). Ces enrochements sont donc toujours associés à un autre élément assurant la fonction d'étanchéité.

La figure 1.8 montre une section schématique des dispositions les plus utilisées

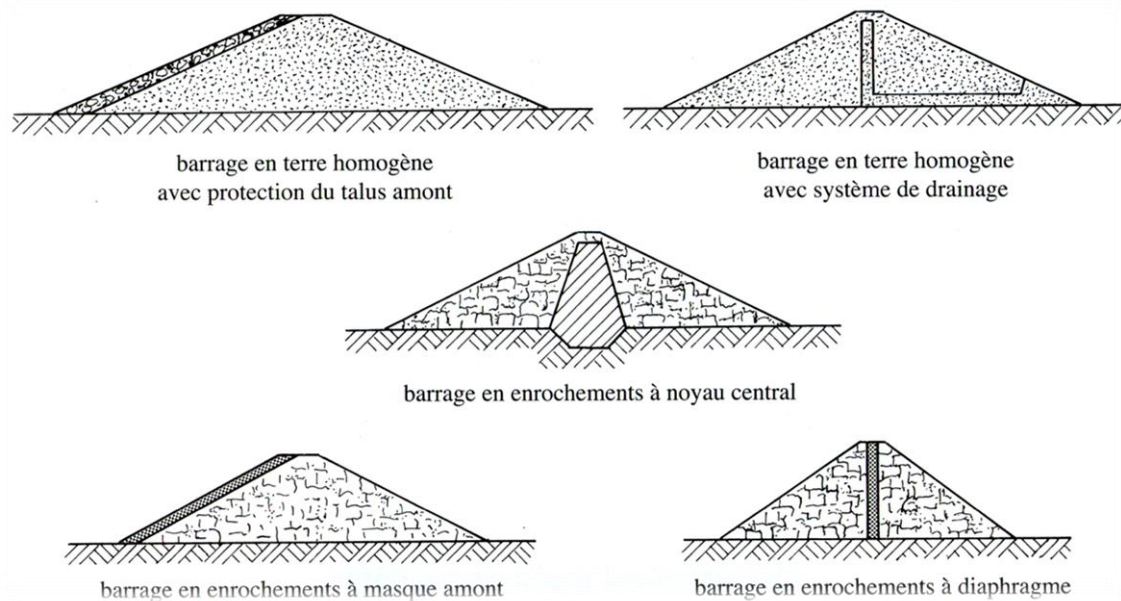


Figure 1.8. Coupes schématiques de différents types de barrages en remblai et disposition des éléments d'étanchéité (SCHLEISS A.J. & POUGATASCH H., 2011).

Par rapport aux barrages en béton, les barrages en remblai présentent les avantages suivants :

- la grande majorité, voire la totalité, des matériaux constituant le corps du barrage proviennent des zones d'emprunts situées à proximité immédiate du site ;
- la mise en œuvre des matériaux peut être très fortement mécanisée et les cadences très importantes, même si le volume à mettre en place est sensiblement plus important ;
- la sollicitation de la fondation (contraintes) est beaucoup plus faible ;
- les tassements de fondation ne posent pas de difficultés majeures, les matériaux étant suffisamment plastiques pour s'adapter.

Ces deux dernières considérations sont essentielles pour le choix du type de barrage. Certains types de barrages en remblai peuvent être placés aussi bien sur une fondation rocheuse que sur une fondation en terrain meuble pour autant que continuité de l'étanchéité soit assurée entre le barrage et la fondation.

La solution du barrage en remblai homogène, constitué d'un seul matériau meuble suffisamment imperméable, est connue depuis des millénaires. Pour des questions de stabilité, les pentes des parements sont douces, ce qui nécessite une grande quantité de matériau. La mise en place judicieuse de dispositifs drainage (entre autres tapis drainant, cheminée drainante) permet de réduire le volume de l'ouvrage. Le talus amont est généralement protégé par des enrochements pour éviter une érosion due aux vagues.

A la suite du barrage en remblai homogène, le barrage en remblai zoné constitue un développement logique. Dans les cas des barrages en remblai en terre ou en enrochements, les matériaux sont utilisés selon leurs propriétés propres et selon leur disponibilité sur place. Un matériau relativement imperméable (argile, limon ou moraine) sera employé pour le noyau central. Ce dernier est supporté par un corps d'appui amont en matériau drainant et un corps d'appui aval. Des filtres assurent la transition entre le noyau et les corps d'appui. Ceci est particulièrement important à l'aval afin pour éviter la migration des particules fines du noyau. L'étanchéité peut aussi être assurée par un diaphragme interne en béton bitumineux, en béton ou en acier.

Enfin, un masque amont peut être prévu pour assurer l'étanchéité dans le cas où il est difficile de trouver un matériau à faible perméabilité en suffisance. Ce masque peut être constitué par un revêtement bitumineux, une géomembrane ou une dalle en béton. Le revêtement étanche doit être capable de s'adapter aux déformations du massif de support.

Les barrages en remblai sont construits par la mise en place de couches de matériaux couvrant toute la surface du barrage. Les épaisseurs de couches sont de l'ordre de 50 à 100 cm (généralement fixée suite à des essais de compactage in situ.) de manière à permettre un bon compactage de l'ensemble de l'ouvrage une consolidation régulière (figure 1.9.).

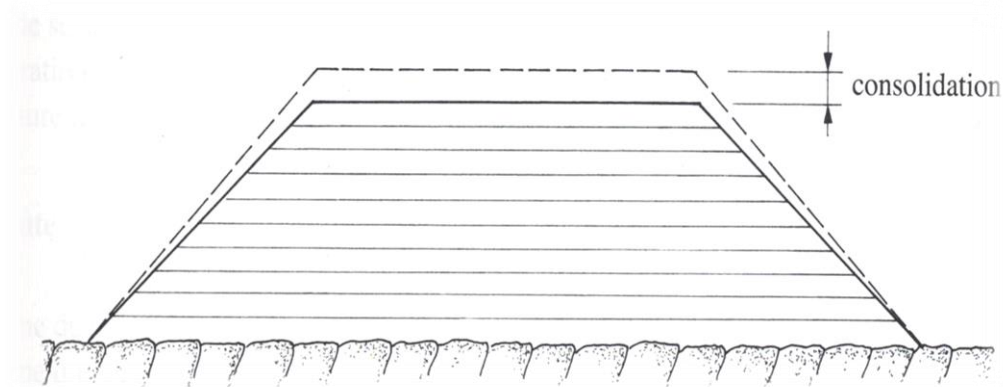


Figure 1.9. Barrage en remblai-mise en place et consolidation (SCHLEISS A.J. & POUGATASCH H., 2011).

1.7.3. Avantages et particularités des différents types de barrages

Dans ce point on va essayer de présenter quelques avantages et particularités essentielles des principaux types de barrage ci-après :

Barrage-poids

Avantages :

- Faibles contraintes dans le béton,
- Faibles contraintes transmises au rocher,
- Les variations de température ne produisent que des contraintes faibles,
- Gradient des sous-pressions sous la fondation faible,
- Évacuateur de crues peut facilement être intégré.

Particularités :

- Volume d'excavation important,
- Volume de béton important,
- Refroidissement artificiel nécessaire lors de la prise du béton,
- Sous-pressions importantes sous la fondation,
- Sensibilité aux tassements, sensibilité aux séismes.

Barrage à contreforts

Avantages :

- Volume de béton plus faible que pour le barrage-poids,
- Contraintes moyennes transmises au rocher,
- Faibles sous-pressions sous la fondation,

- Echauffement faible lors de la prise du béton,
- L'évacuateur de crues peut facilement être intégré.

Particularités :

- Volume d'excavation important,
- Gradient des sous-pressions sous la fondation localement très important,
- Contraintes de température peuvent être importantes dans la tête,
- Risque limité de tassements,
- Grande sensibilité aux séismes.

Barrage-poids évidé

Avantages :

- Comme pour le barrage-poids,
- Volume de béton plus faible,
- Réduction des sous-pressions au contact béton-rocher.

Particularités :

- Comme pour le barrage-poids,
- Augmentation du gradient hydraulique de l'écoulement souterrain à proximité de la fondation.

Barrage en béton compacté au rouleau (BCR)

Avantages :

- Faible dosage en ciment,
- Teneur en eau réduite,
- Surface de coffrage restreinte,
- Exécution rapide,
- Emprise réduite par rapport au barrage-poids,
- Mise en place sur grande surface par couches minces,
- Faible coût de construction.

Particularités :

- Requiert des fondations sur rocher,
- Mise en place et compactage identiques aux barrages en remblai.
- Limitation des percolations par la mise en place d'un revêtement du parement amont,
- Pas de système de refroidissement artificiel du béton,

- Bonne résistance en cas de séisme, de submersion,
- Possibilité d'incorporer un évacuateur de crue de surface, des galeries de contrôle et des puits.

Barrage à voûtes multiples

Avantages :

- Volume de béton faible,
- Volume d'excavation relativement limité,
- Faibles sous-pressions sous la fondation,
- Pas de problèmes thermiques lors de la prise du béton dans le cas des ouvrages minces.

Particularités :

- Contraintes importantes dans les voûtes,
- Nécessité d'armer les voûtes pour limiter la fissuration,
- Sensibilité aux gradients de température,
- Gradient des sous-pressions sous la fondation localement très important,
- Sensibilité aux tassements différentiels,
- Grande sensibilité au séisme, intégration des ouvrages annexes difficile,
- Structure très vulnérable et très exposée aux actes de malveillance.

Barrage-voûte

Avantages :

- Volume de béton faible,
- Volume d'excavation relativement limité,
- Faibles sous-pressions sous la fondation,
- Haute résistance au séisme.

Particularités :

- Contraintes importantes dans le béton,
- Contraintes importantes dans le rocher sous la fondation,
- Efforts transmis obliquement aux appuis latéraux,
- Sensibilité limitée aux tassements (hyperstaticité),
- Echauffement durant la prise du béton pouvant nécessiter des mesures particulières,
- gradient de sous-pression sous la fondation important,

- Drainage des fissures des massifs d'appui devant être rigoureusement traité, difficultés d'intégration de l'évacuateur de crues dans le barrage.

Barrage en remblai à noyau central

Avantages :

- Corps du barrage très flexible s'adaptant aux conditions de terrain,
- Structure très peu sensible aux tassements et aux séismes,
- Excavations limitées,
- Contraintes très faibles sur le sol de fondation,
- Gradient hydraulique faible dans le noyau et dans la fondation.

Particularités :

- Volume de matériau à mettre en place très important,
- Disponibilité de matériau argileux en grande quantité à proximité du site,
- Mise en place du noyau argileux impossible lors de conditions météorologiques défavorables.

Barrage en remblai à masque amont

Avantages :

- Corps du barrage très flexible s'adaptant aux conditions du terrain,
- Structure peu sensible aux tassements globaux,
- Structure peu sensible aux séismes si des mesures spécifiques sont prévues,
- excavations limitées,
- Pas de matériaux argileux à mettre en place,
- Pas d'exigences particulières en ce qui concerne les conditions météorologiques,
- contraintes très faibles sur le sol de fondation.

Particularités :

- Volume de matériau à mettre en place très important,
- Gradient hydraulique important sous la fondation de la plinthe,
- Fondation de la plinthe sur du rocher peu perméable,
- Structure sensible aux tassements différentiels du masque rigide et du remblai (enrochements).

1.7.4. Critères d'évaluation d'un aménagement à accumulation

En général, les critères d'évaluation d'un aménagement sont les suivants :

- **Technique** : est-ce que les objectifs purement techniques peuvent être atteints par un aménagement ?
- **Economique** : est-ce que les bénéfices en cas de réalisation d'un aménagement sont supérieurs à ceux en cas de renoncement au projet ?
- **Financier** : est-ce que les moyens financiers sont suffisants (pendant la construction d'un aménagement et lors de son exploitation) ?
- **Politique** : est-ce que le projet est soutenu par les instances politiques et les populations concernées ?
- **Sociétal** : est-ce que les utilisateurs potentiels peuvent tirer profit de ce projet ?
- **Environnemental** : est-ce que l'impact du projet sur l'environnement et l'utilisation du territoire est défendable ?

La faisabilité d'un aménagement résulte certainement du résultat de l'étude de ces critères.

Les contre-indications à la réalisation d'un aménagement à accumulation peuvent être écartées en étudiant si le projet est :

- Techniquement réalisable,
- Economiquement justifiable,
- Socialement acceptable,
- Ecologiquement défendable.

Enfin, les points suivants doivent être pris en compte :

- Les conditions physiques du site doivent être telles que la réalisation des ouvrages, avec des moyens techniques à disposition, soit possible et les objectifs prévus soient atteints ;
- Les coûts de réalisation, d'exploitation et d'entretien doivent être en rapport avec le gain provenant de la production ;
- L'atteinte au milieu naturel et aux populations concernées doit être compatible au gain réalisé.

1.8. LES BARRAGES ET L'ENVIRONNEMENT

Ce point à pour simple objectif de montrer qu'il y a des impacts sur l'environnement lors des constructions des barrages qu'il faut les prendre en considération.

La construction d'un barrage influence de manière significative la zone du cours d'eau où il est érigé. Le barrage constitue une barrière à l'écoulement naturel d'un cours d'eau, avec pour incidence d'affecter la migration des poissons et autres organismes, ainsi que le transport des sédiments. En créant un lac artificiel, le barrage peut avoir une incidence sur la nappe phréatique et également sur la qualité des eaux. En outre, le barrage modifie le régime hydraulique à l'aval, ce qui peut conduire entre autres à des fluctuations journalières ou saisonnières des débits.

Pour anticiper et éviter tous désagréments tant écologiques que socioéconomiques, une étude d'impact sur l'environnement (EIE) a été introduite dans de nombreux pays, pour certains depuis de très nombreuses années, pour accompagner la planification, la conception, la réalisation et l'exploitation de tout nouveau projet. Une EIE implique l'engagement de nombreux spécialistes dont le mandat est d'analyser les différentes conséquences liées au projet et de proposer les moyens d'y remédier si nécessaire. Ce travail interdisciplinaire requiert la compréhension mutuelle de chaque partenaire. Les mesures d'accompagnement ne pourront être prises que si, du point de vue des spécialistes. Elles sont techniquement praticables et économiquement acceptables.

L'ingénieur peut ainsi prendre conscience dès le début de ses études de son projet d'effets qui peuvent se révéler négatifs. Il peut ainsi prendre des mesures pour limiter ces effets et intégrer le rapport bénéfice-inconvénients dans le cadre de son analyse.

L'analyse des impacts sur l'environnement englobe des aspects physiques, biologiques, humains et socioéconomiques (figure 1.10.) Les aspects physiques intéressent l'atmosphère (questions climatiques), l'hydrosphère (problèmes liés à l'eau de surface et souterraine) et la lithosphère (problèmes liés à la géologie tels que l'analyse de la stabilité des fondations du barrage et des versants de la retenue ainsi que de l'étanchéité de la cuvette). Les aspects biologiques sont liés à la faune et la flore ainsi que la végétation (en général). Enfin, les aspects humains et socioéconomiques concernent la présence, les biens et les activités de la population résidant en priorité dans la zone du barrage et de la retenue.

La population peut être totalement affectée si elle perd non seulement son logement, ses terres et autres ressources, voire tous ses moyens de subsistance; elle le sera partiellement, si elle ne perd qu'une partie de ses ressources (il s'agit la plupart du temps de la perte des terres) et conserve son habitation car celle-ci est située hors de la zone immergée.

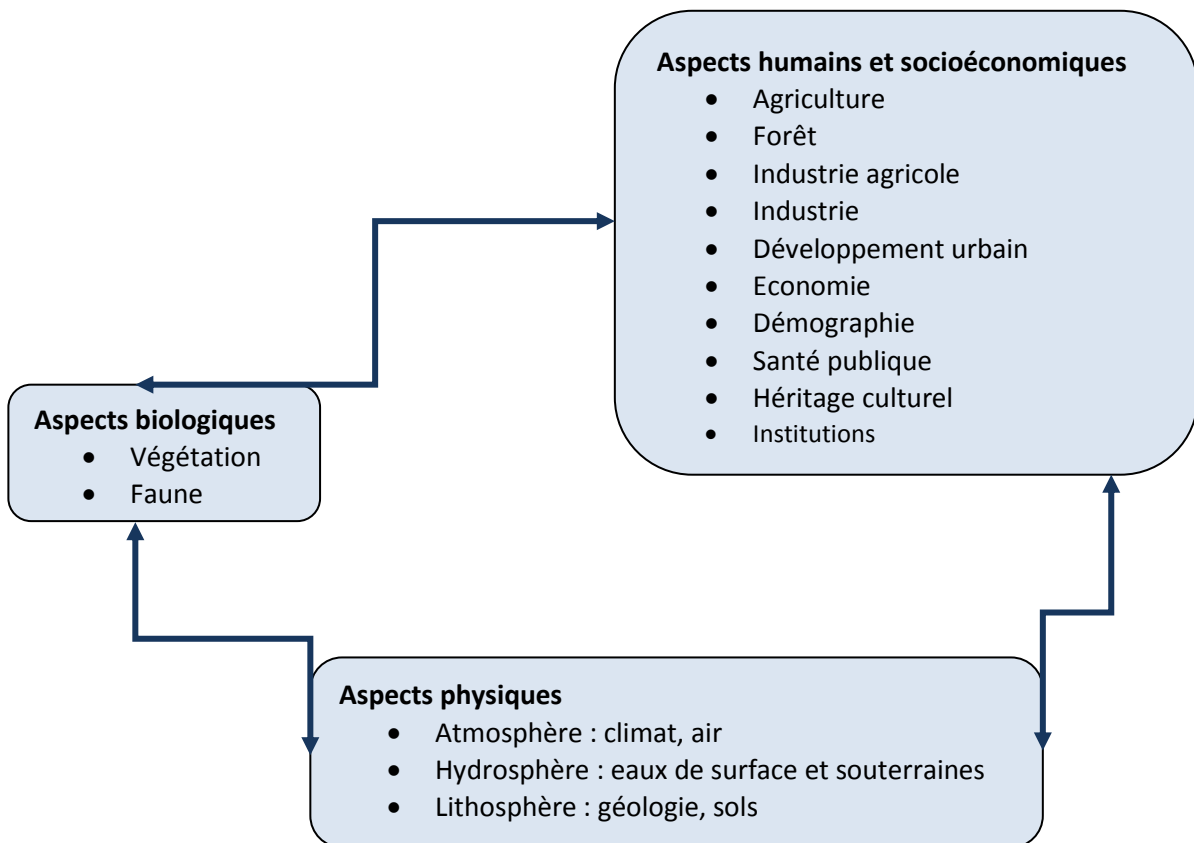


Figure 1.10. Composantes principales de l'environnement (SCHLEISS A.J. & POUGATASCH H., 2011).

1.9. CONCLUSION

Notre objectif dans ce chapitre ci-dessus est d'étaler d'une manière claire et synthétique le domaine des barrages, pour cela plusieurs points ont été présentés comme les rôles, les fonctions, l'évolution et l'avenir des barrages.

Les barrages restent et continueront d'apporter une contribution importante au management des ressources en eau. Ils seront d'autant plus importants pour les pays en développement où la construction de réservoirs et l'utilisation de la force hydraulique ont une importance considérable. Par exemple, pour un pays dont le sous-sol ne renferme aucune ressource

naturelle telle que le charbon ou le pétrole, la possibilité de pouvoir recourir à l'énergie hydraulique (énergie propre et renouvelable) est une chance à saisir.

Dans le futur, les barrages continueront à jouer notamment un rôle essentiel pour l'alimentation en eau potable et la mise à disposition d'eau pour l'irrigation surtout dans les pays ayant un gros potentiel de développement. En outre, il ne faut pas omettre la protection contre les crues. Depuis 2001, le nombre des barrages en construction plus haut que 60 m dans le monde se situe entre 320 et 370 et pour une hauteur supérieure à 150 m on a entre 47 et 57 barrages en construction (selon Hydropower & Dams).

LES RISQUES



Figure 2.1. Barrage voûte de **Tichi Haf Béjaïa** (Algérie) mis en service en 2005. Sa hauteur est de 84 m.
(Tiré de : www.aghaladh.centerblog.net)

2.1. INTRODUCTION

Les risques en général existent dans n'importe quel projet, on ne peut guère réaliser un projet sans prendre des risques. Les barrages sont des projets assez complexes dans leur conception, réalisation et exploitation, et sont souvent soumis à des risques multiples pouvant influencer à leur bon fonctionnement, et peuvent avoir un impact négatif sur leur environnement (perte humaine, matérielles, pollution...).

Il ressort des conclusions du bulletin 99 de la CIGB (CIGB, 1995) que le pourcentage de ruptures a décliné depuis 1951. Le taux de rupture à partir de cette année se situe à 0.5% alors qu'auparavant il était de 2.2 %, ce qui tend à prouver que les progrès réalisés dans la technique de construction rendent les barrages modernes plus fiables. Il a aussi été constaté que les ruptures surviennent dans les 10 premières années d'exploitation et en majorité pendant la première année. Une rupture sur deux se produit au moment du premier remplissage, le risque étant moins élevé pour les ouvrages en béton que pour les ouvrages en remblai. En outre, les ruptures concernent en priorité les petits ouvrages qui représentent la majorité des barrages construits. Dans ce chapitre nous allons présenter les principales causes de rupture des barrages avec quelque mode de rupture des barrages

Vue la complexité des projets de barrages l'intégration du management des risques est primordiale, dans ce chapitre nous allons présenter d'une manière synthétique le management des risques ; méthodes, outils et processus. Ainsi une notion sur l'analyse des risques car ces résultats complétés par la connaissance des exigences fixées par la loi permettent de bâtir un plan d'action qui transforme les objectifs de la politique en cibles concrètes à court terme.

2.2. CONCEPT DE RISQUE ET DEFINITIONS

Avec le développement technique, économique et social du 19^{ème} et 20^{ème} siècle, le risque a envahi notre quotidien avec son lot de catastrophes et occupe aujourd'hui une place sans précédent dans la décision publique. Enfin, l'impact des catastrophes naturelles et industrielles n'ayant cessé de croître, la prise en compte des risques et de leur gestion n'en a été que de plus en plus nécessaire dans les sociétés modernes.

2.2.1. Définitions

2.2.1.1. Qu'est-ce qu'un risque ?

« Possibilité, probabilité d'un fait, d'un événement considéré comme un mal ou un dommage. Danger, inconvénient plus ou moins probable auquel on est exposé. » *selon le dictionnaire Larousse.*

« Un risque est l'effet de l'incertitude sur l'atteinte des objectifs » *Selon la norme ISO 31000 : 2009.* C'est-à-dire la possibilité qu'il y ait un écart positif (opportunité) ou négatif (menace) par rapport à une attente. Constitue donc un risque projet tout événement dont l'apparition n'est pas certaine et dont l'effet est susceptible d'affecter les objectifs du projet, dans ses périodes d'étude, de construction, et éventuellement d'exploitation ou de démantèlement.

2.2.1.2. Qu'est-ce qu'un aléa ?

« Un phénomène dangereux, une substance, activité humaine ou condition pouvant causer des pertes de vies humaines, des blessures ou d'autres effets sur la santé, des dommages aux biens, des pertes de moyens de subsistance et des services, des perturbations socio-économiques, ou des dommages à l'environnement. » *selon UNISDR*

2.2.1.3. Qu'est-ce qu'une vulnérabilité ?

« Les caractéristiques et les circonstances d'une communauté ou d'un système qui le rendent susceptible de subir les effets d'un danger. » *selon UNISDR*

La norme ISO définit la vulnérabilité comme suite : « Propriétés intrinsèques de quelque chose entraînant une sensibilité à une source de risque pouvant induire une conséquence. » (ISO Guide 73/2009)

Alors, on peut conclure qu'un risque est défini et mesuré comme le produit d'un aléa par une vulnérabilité (Figure 2.2.).

$$\begin{aligned} \text{Risque} &= \text{Aléa} * \text{Vulnérabilité} \\ &= \text{Probabilité} * \text{Gravité} \end{aligned}$$

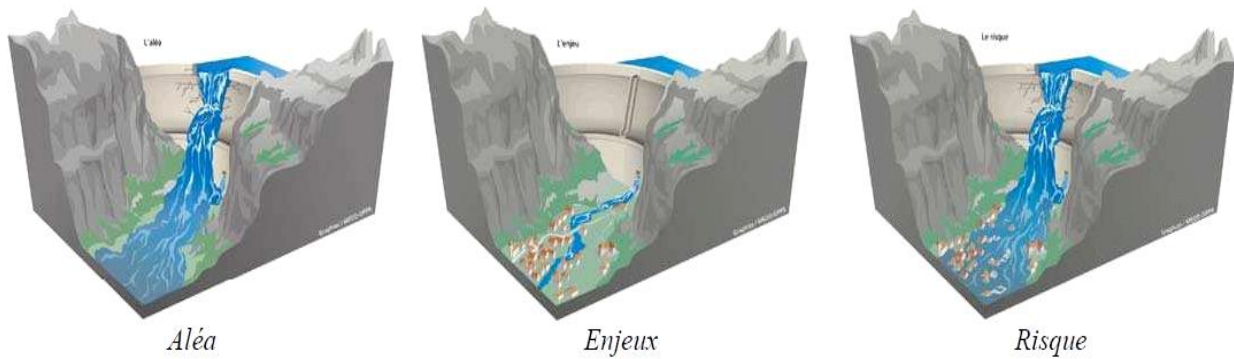


Figure 2.2. Une combinaison de l'aléa et des enjeux (Risque dû à la rupture d'un barrage)

2.2.2. Facteurs et caractéristiques des risques

Un facteur de risque est un élément déclencheur d'une perte, un événement ou une situation qui cause l'occurrence d'une perte. Le facteur de risque constitue donc l'origine d'un risque ou d'un ensemble de risques.

Parmi les exemples classiques de facteurs de risque, on retrouve la complexité d'une application, la taille d'un projet, le nombre d'intervenants, la nouveauté technique, l'instabilité des besoins d'affaire, le manque d'expérience, l'absence d'assurance qualité, le manque de rigueur dans la définition des exigences, de paramètres erronés d'estimation de l'effort, etc.

Facteurs de risque internes : Il s'agit de circonstances contrôlées par un cadre supérieur effectuant une gestion des risques adéquate. Voici quelques exemples d'éléments de risque internes : fiabilité des prévisions de coûts; ressources humaines; ressources financières; définition des besoins- portée, résultats, avantages, complexité; structure organisationnelle; niveau de la certitude technique; et viabilité de l'organisation.

Facteurs de risque externes : Il s'agit de circonstances qu'un cadre supérieur ne peut pas contrôler. Voici quelques exemples d'éléments de risque externes: délais imposés par une autorité externe; mesure prise par le gouvernement; compressions budgétaires; obligations envers les partenaires; obligations légales; accords juridiques et politiques; et condition de résiliation

Ainsi, les caractéristiques des risques sont:

- Leur nature
- L'effet produit
- Leur détectabilité
- Leur contrôlabilité
- Leur gravité
- Leur probabilité d'occurrence qui correspond soit à leur probabilité d'apparition soit à leur fréquence d'apparition

2.2.3. Typologie des risques

2.2.3.1. Risques naturels

Les risques naturels sont de deux ordres:

- Les risques climatiques (tempêtes, cyclones et tornades mais aussi inondations et sécheresses) qui déterminent des risques hydrologiques ;
- Les risques lithosphériques appelés aussi risques d'origine géophysique comme les séismes, glissements de terrain, les risques volcaniques et les tsunamis engendrés par séismes sous-marins.

2.2.3.2. Risques d'origine anthropique

Les risques provoqués par l'être humain sont multiples mais les plus importants sont les risques toxiques, risques d'incendie, risques d'explosion. Il faut en connaître l'aléa (produits, procédés, contexte) et l'enjeu (humain, environnemental, économique). Par leur origine, on distingue :

- *Risques technologiques et environnementaux* : qui sont la conséquence directe et perverse d'une industrialisation peu réglementée mais aussi des systèmes de transport de matières premières, de produits dangereux, d'endommagement de pipe-lines... etc.
- *Risques naturels aggravés par l'action humaine* : tels que la déforestation et désertification. Une grande partie des zones tropicales devient de plus en plus chaude et sèche. L'Afrique est le continent le plus touché par la désertification en particulier dans la zone déjà aride de l'Afrique de l'Ouest.

2.2.3.3. Risques et milieu urbain

La ville génère des risques endogènes (technologiques, sociaux, sanitaires, sociétaux) et aggrave parfois les risques naturels. Le risque est accru en raison de la très forte concentration de masses humaines sur des surfaces réduites.

L'accroissement de la vulnérabilité par la rapidité de la croissance urbaine est lié à :

- *Extension des surfaces bâties* : Le bâti est non seulement de mauvaise qualité mais son extension, imperméabilisant les sols, accentue le ruissellement. En cas d'absence de canalisations, provoque soit des stagnations soit des écoulements à très forts débits pouvant provoquer des ravinelements et l'artificialisation des lits fluviaux.
- *Menaces de pollutions multiples* : Gaz d'échappement et pollution de l'air : demande de transports publics et l'engouement pour les véhicules individuels dans les classes moyennes renferment un coût qui se traduit sur le plan sanitaire en termes de pollution de l'air. Mauvaise qualité de l'approvisionnement en eau. L'obsolescence et l'insuffisance des réseaux d'assainissement entraînent des problèmes de pollution des réseaux, de contamination des eaux.

2.2.4. Risque projet

Le risque du projet correspond à un événement ou une situation dont la concrétisation, incertaine, aurait un impact positif ou négatif sur au moins un objectif du projet tel que les délais, le coût, le contenu ou la qualité (Guide PMBOK, 3ème édition, 2004).

Pour un projet, les risques structurels induits par la mauvaise prise en compte des exigences, la mauvaise organisation ou une technologie insuffisante et les risques conjoncturels liés aux aléas du déroulement et à la conduite du projet, peuvent contrarier l'atteinte de ses objectifs en termes de performances, coûts et délais.

2.3. LES RISQUES LIES AUX BARRAGES

2.3.1. La rupture des barrages

Le risque majeur lié à la présence d'un barrage est la rupture, un barrage n'est pas inerte. Il vit, travaille et vieillit en fonction des efforts auxquels il est soumis.

2.3.1.1. Comment se produirait la rupture ?

Le phénomène de rupture de barrage correspond à une destruction partielle ou totale d'un barrage.

Les causes de rupture peuvent être de différents ordres :

- **Des problèmes techniques** peuvent entraîner la rupture d'un ouvrage. Il peut s'agir d'un défaut de fonctionnement des vannes permettant l'évacuation des crues ou bien d'un vice de conception, de construction ou de matériaux. Le type de barrage, les matériaux utilisés, la nature des fondations ainsi que l'âge de l'ouvrage vont avoir une influence sur l'apparition de ces problèmes. Cependant, l'évolution des techniques de construction rend les barrages modernes beaucoup plus sûrs.
- **Des causes naturelles** peuvent également être à l'origine de rupture de barrage. Il en est ainsi des crues exceptionnelles, d'intensité supérieure à celle retenue pour le dimensionnement des ouvrages évacuateurs, appelée *crue de projet*. Le niveau de sécurité retenu est généralement compris entre la crue millénale et la crue décamillénale. Les barrages en remblai ne supportent pas la submersion et sont donc plus vulnérables aux débordements. La phase de chantier pour les barrages en construction est une période sensible aux risques de crue, car les ouvrages d'évacuation ne sont pas encore opérationnels.

Les glissements de terrains, soit de l'ouvrage lui-même dans le cas de barrages en remblai, soit des terrains entourant la retenue sont également une cause de rupture. L'ouvrage peut être déstabilisé par un glissement ou bien submergé par la vague engendrée par un glissement en amont de la retenue (barrage du Vajont, Italie, 1963).

Enfin les séismes peuvent causer des dommages mineurs à ne pas négliger (déformations, tassements, fissures, etc.). Les ruptures de barrages dues aux séismes sont d'ailleurs très rares.

- **Des causes humaines** peuvent enfin être à l'origine d'accidents : études préalables pas assez approfondies, contrôle d'exécution insuffisant, erreurs d'exploitation, défaut de surveillance et d'entretien ou encore actes de malveillance, sabotage, attentat, guerre (*Les barrages sont néanmoins protégés par la convention de Genève*).

Le phénomène de rupture de barrage dépend des caractéristiques propres du barrage. Ainsi, la rupture peut être :

- **Progressive** dans le cas des barrages en remblais, par érosion régressive, suite à une submersion de l'ouvrage ou à une fuite à travers celui-ci (phénomène de " renard ") ;

- **Brutale** dans le cas des barrages en béton, par renversement ou par glissement d'un ou plusieurs plots.

Une rupture de barrage entraîne la formation d'une onde de submersion se traduisant par une élévation brutale du niveau de l'eau à l'aval (Figure 2.3.).

2.3.1.2. L'onde de submersion

L'aléa « rupture de barrage » correspond à la formation d'une onde de submersion, à l'origine d'une élévation brutale du niveau de l'eau à l'aval.

La carte du risque représente les zones menacées par l'onde de submersion qui résulterait de la rupture totale ou partielle de l'ouvrage. Obligatoire pour les grands barrages, cette carte est réalisée par l'exploitant à partir de simulations sur ordinateur. Elle détermine à l'avance, dès le projet de construction, quelles seront les caractéristiques de l'onde de submersion : hauteur de l'eau, vitesse, temps de progression de l'onde, amortissement, etc., en tous points de la vallée, en y faisant figurer les enjeux et les points sensibles, ainsi que tous les renseignements indispensables à l'établissement des plans de secours et d'alerte

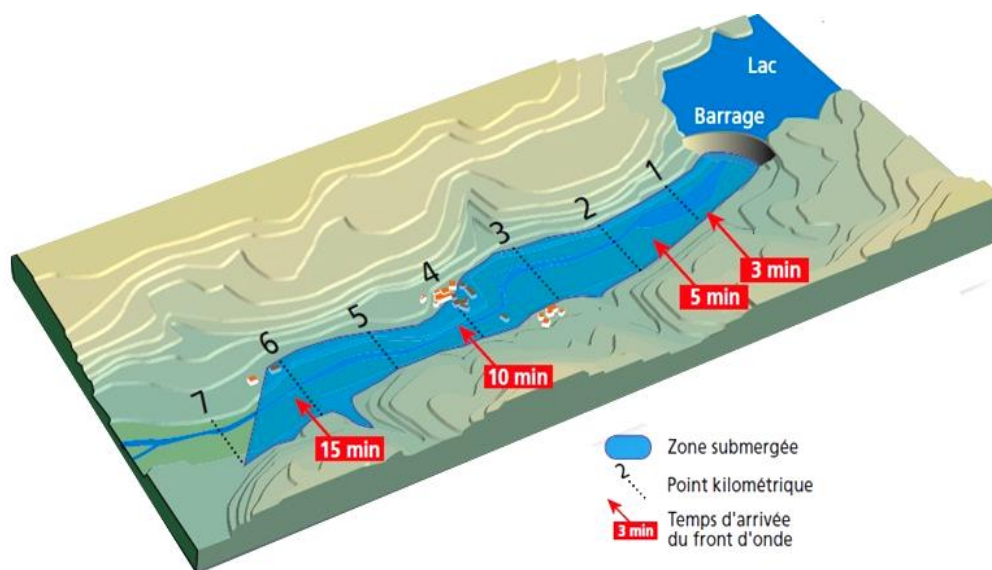


Figure 2.3. L'onde de submersion

2.3.1.3. Les conséquences sur les personnes et les biens

D'une façon générale les conséquences sont de trois ordres : humaines, économiques et environnementales. L'onde de submersion ainsi que l'inondation et les matériaux transportés, issus du barrage et de l'érosion intense de la vallée, peuvent occasionner des dommages considérables :

- **Sur les hommes** : noyade, ensevelissement, personnes blessées, isolées ou déplacées;
- **Sur les biens** : destructions et détériorations aux habitations, aux entreprises, aux ouvrages (ponts, routes, ...etc.), au bétail, aux cultures ; paralysie des services publics, ...etc.;
- **Sur l'environnement** : endommagement, destruction de la flore et de la faune, disparition du sol cultivable, pollutions diverses, dépôts de déchets, boues, débris, etc., voire accidents technologiques, dus à l'implantation d'industries dans la vallée (déchets toxiques, explosions par réaction avec l'eau, etc.).

2.3.1.4. Les principaux accidents dans le monde

On dénombre environ 40.000 grands barrages dans le monde, c'est-à-dire des barrages de plus de 15 m de hauteur, dont plus de la moitié en Chine. 80% de ces 40.000 barrages sont inférieurs à 30 m de hauteur et 1% est supérieur à 100 m de hauteur.

On dénombre 30 accidents de rupture de barrages dans le monde, faisant 18.000 victimes. Dans le tableau ci-dessous (Tableau 2.1.), seuls les accidents ayant causé plus de 100 morts sont répertoriés. Cependant, ces statistiques ne prennent pas en compte les barrages chinois ; par exemple, la rupture en 1975 des barrages de Banqiao et Suimanqiao sur la rivière Huai dans le Henan a fait environ 250.000 morts.

Tableau 2.1. Les accidents les plus graves entre 1959 et 1987 (M.P.P.R, 2004)

Barrage	Pays	Date de rupture	Hauteur Du barrage (m)	Volume de la retenue (hm3)	Nombre de victimes
Panshet	Inde	1961	49	214	1000
Sempor	Indonésie	1967	60	56	200
Barrage poids, rupture lors de la première mise en eau					
Puentes	Espagne	1802	69	13	600
Saint francis	usa	1928	62	47	450
Barrage à contreforts et voûtes multiples					
Gleno	Italie	1923	35	5	600
Vega de terra	Espagne	1959	33	7.3	140

Barrage	Pays	Date de rupture	Hauteur du barrage (m)	Volume de la retenue (hm3)	Nombre de victimes
Barrage en remblai ; rupture lors de la première mise en eau					
Iruhaike	Japon	1868	28	18	1200
Mill river	Usa	1874	13	inconnu	140
South fork	Usa	1889	21	18	2200
Walnut grove	Usa	1890	33	11	129
Hyogiri	Corée du sud	1961	15	0.2	139
Nanak sagar	Inde	1967	16	210	100
Machu	Inde	1979	26	101	2000
Gotvan	Iran	1980	22	Inconnu	200
Kantale	Siri lanka	1986	27	135	127
Barrage en remblai ; rupture durant la construction					
Dale	grande	1864	29	3.2	230
Barrage poids, rupture en service					
Fergoug	Algérie	1881	33	30	200
Tiga	Inde	1917	25	124	1000
Malpasset	France	1959	60	49	423

En considérant l'ensemble des ruptures postérieures à 1800 dans le monde, quelle que soit la hauteur du barrage, on compte 144 ruptures dont :

- 71 sans victime ;
- 31 avec moins de 10 morts ;
- 17 avec 10 à 99 morts ;
- 25 avec 100 morts et plus.

2.3.2. Les principales causes de rupture des barrages

Comme tout ouvrage de génie civil, les barrages peuvent connaître des défaillances de sécurité, qui peuvent aboutir à des accidents plus ou moins graves; la situation de rupture paraît plutôt liée à une évolution plus au moins rapide d'une dégradation de l'ouvrage susceptible d'être détectée par la surveillance et l'auscultation. Les causes d'une rupture sont diverses, elles peuvent être liées à plusieurs aléas qui sont illustrés dans les exemples ci-dessous.

2.3.2.1. La submersion

La rupture de barrage Fergoug– Algérie, montre que les premiers barrages Algériens ont connu des problèmes de conception du fait que les techniques de réalisations des barrages n'étaient pas maîtrisées.

Identification du barrage

La construction du barrage débuta en 1865. Les principales caractéristiques du barrage se trouvent dans le tableau ci-dessous (Tableau 2.2.).

Tableau 2.2. Les caractéristiques principales du barrage Fergoug (BOUHALALI M., 2006)

En droit	Algérie
Date de construction	1865
Type de barrage	Barrage poids en maçonnerie hydraulique
L'année d'achèvement	1871
La hauteur (au-dessus du thalweg)	35 m
La hauteur à partir de fondation	43 m
La largeur maximum de fondation	33 m
La capacité de la cuvette	30000000 m ³
Le débit de crue	400 – 500 m ³ /s
La hauteur de barrage	32 m

Rupture de barrage Fergoug I en 1881

Le 10 mars 1872 : une crue exceptionnelle estimée à 700 m³/s provoqua la rupture du déversoir (qui obligea pour créer une brèche).

Le 15 décembre 1881 : une crue de 850 m³/s emporta 125 mètres du barrage sur la rive droite. 250 personnes furent noyées, ponts, et maisons emportés par les flots déchaînés. La reconstruction du barrage dura deux années, de 1883 à 1885, avec modification du profil.

Rupture de barrage Fergoug II en 1927

Le 25 novembre 1927, le niveau de l'eau ne cessait de monter obligeant les responsables du barrage à ouvrir les vannes d'évacuation à leur débit maximum. Cette opération ne suffit pas à diminuer la pression qui s'exerçait sur le barrage poids. En 22 heures et 20 minutes, le plan d'eau s'éleva de 27 m.

Le lendemain matin, le barrage de l'Oued - Fergoug, de 32 m de hauteur, se mettait à vibrer. Soudain le barrage fléchissait dans son milieu, s'ouvrait, et une énorme trombe d'eau jaillissait au point de rupture.

Trois quarts d'heure après l'annonce de la rupture du barrage, les flots torrentiels déferlaient dans les rues de Perrégaux, dans un vacarme assourdissant et angoissant.

La vague, puissante et dévastatrice, emporte sur son passage le pont métallique du chemin de fer; le dépôt des chemins de fer de l'état, les locomotives et les wagons sont soulevés, renversés, transportés jusqu'à les rues de la ville. Les routes sont coupées, les vergers arrachés, les récoltes anéanties. L'eau submerge et dégrade la route Perrégaux-Oran. Dans la ville, une cinquantaine de maisons n'ont pas résisté et se sont effondrées sous le choc et la poussée de cette force naturelle que l'on avait essayé de maîtriser. Dans les rues, la hauteur des eaux boueuses atteint deux mètres. Il n'y eut pas de victime à Perrégaux. On dénombra cependant quelques noyés dans la plaine.



(a) Le barrage de Fergoug en 1907 avant la rupture.



(b) Le barrage de Fergoug après la catastrophe en 1928.



(c) Le barrage de Fergoug après reconstruction 1986.

Figure 2.4. Rupture du barrage de Fergoug (BOUHALALI M., 2006)

2.3.2.2. L'érosion régressive

Plusieurs accidents provoqués par l'érosion, parmi les exemples les plus connus on a la rupture du barrage de Teton (figure 2.5.).

Le barrage en remblai de Teton d'une hauteur de 91,5 m, est du type en terre avec un noyau argileux imperméable. sa rupture a eu lieu le 5 juin 1976 durant son premier remplissage.

Le 3 juin, on constate des sources au niveau du lit de la rivière à environ 450 m à l'aval du barrage.

Le lendemain d'autres sources sont apparues au pied aval du barrage. Le 5 juin, les venues d'eau d'un débit initial de 0,5 à 0,8 m³/s, se sont développées sur la surface aval du barrage à environ 40 m sous le couronnement. L'eau, d'un débit de 0,05 m³/s, sortait en rive droite d'un point proche du contact du barrage avec son appui. Puis de l'eau sale a aussi été vue sortant du talus a proximité du pied du barrage avec un débit 0,7 m³/s. dans la partie supérieure le débit augmenta continuellement. Plus tard un barrage se rompit alors complètement.



(a) Vue sur le barrage de Teton (USA) avant la rupture



(b) Rupture du barrage de Teton (USA).

Figure 2.5. Rupture de barrage en terre. Le barrage de Teton (Idaho, États-Unis, 1976), (SCHLEISS A.J. & POUGATASCH H. , 2011).

2.3.2.3. L'instabilité

Le barrage-voûte de Malpasset (France) avait une hauteur de 66 m pour en crête de 222 m. l'épaisseur au couronnement était de 1,5 m et son épaisseur à la base de 6,78 m.

Le 2 décembre 1959, le barrage de Malpasset fut emporté dans la soirée, alors que le niveau d'eau était voisin de la crête du réservoir. Il s'agissait du premier remplissage. Pratiquement, toute la voûte s'effaça en un instant, seules demeurent la partie du barrage en rive droite et la base de partie centrale. Le barrage fut totalement détruit sur la rive gauche et une grande cavité en forme de dièdre apparut dans le rocher.

L'appui de déplaça horizontalement de 2 m. la partie subsistant subit une rotation en bloc autour de l'extrémité de rive droite avec un déplacement maximum de 80 cm. des morceaux de béton et de roche, on devait constater une bonne adhérence entre béton et rocher. La catastrophe a fait 423 victimes et des dommages matériels comme suite :

- 2,5 km de voies ferrées arrachées,
- 951 immeubles touchés dont 155 entièrement détruits,
- 30 fermes complètement détruites, et 50 fermes détruites à 50%,
- 60 bâtiments d'exploitation complètement détruits et 45 détruits à 50%,
- 3.200 hectares de terres cultivées endommagées, dont 700 hectares irrécupérables par suite du décapage de la totalité de la terre végétale, et 900 hectares devant faire l'objet de travaux importants pour une remise en culture,
- une quantité énorme de matériel de culture (tracteurs, motoculteurs, ...),
- 1.000 moutons et la totalité des animaux de basse-cour ont été noyés.

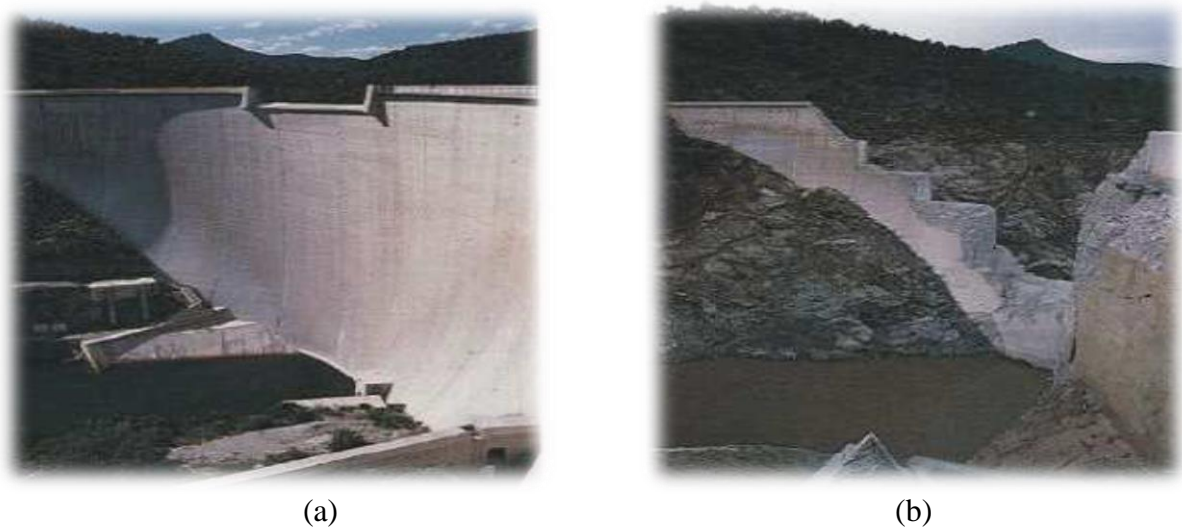


Figure 2.6. Barrage Malpasset avant (a) et après (b) sa rupture (SCHLEISS A.J. & POUGATASCH H. , 2011).

La rupture du barrage fut le résultat d'une combinaison imprévue de causes dont certaines n'avaient pas été envisagées auparavant. Le site de Malpasset est caractérisé par une faille étanche plongeant sous le barrage de l'aval vers l'amont avec un angle de 45° et par un grand nombre de surface de glissement potentielles non détectable plongeant de l'amont vers l'aval. La sous-pression provoquée par l'eau du réservoir agissant sur une surface importante de la fondation rocheuse profonde a développé une force capable d'atteindre une valeur suffisante pour soulever le barrage et le dièdre qui le supportait.

La sous-pression a pu se produire en raison de la faiblesse du rocher et le comportement du gneiss modérément imperméable dans des conditions normales. Ce dernier devient imperméable lorsqu'il est comprimé et agit comme un écran imperméable dans la fondation contre lequel viennent buter les infiltrations en provenance du réservoir. Sous l'effet de la pression hydrostatique du fait de la faible cohésion entre les surfaces de glissement potentielles, la fondation s'est légèrement déplacée vers l'aval, provoquant une fissure dans laquelle la sous-pression a pu se manifester à cause de l'imperméabilité de la faille aval. Cette faille et la fissure amont délimitaient un dièdre rocheux de la fondation, ce bloc et le barrage furent soulevés par la sous-pression comme si la fondation avait explosé.

2.3.2.4. VIEILLISSEMENT

En effet, un contrôle défectueux des écoulements à travers le barrage de Beli Iskar met en cause à la fois la stabilité de l'ouvrage, par la répartition défavorable des sous pressions et sa pérennité par l'accélération des processus de vieillissement. Les principes caractéristiques du barrage sont représentés dans le tableau (Tableau 2.3.).

Tableau 2.3. Caractéristiques principales du barrage (BOUHALALI M., 2006)

En droit	Bulgarie
Date de construction	1935-1945
Type de barrage	Barrage poids
Hauteur	50.7 m
Longueur en crête	533 m
Hauteur maximale sur fondation	51 m
Volume du corps du barrage	226000 m ³

Causes de vieillissement

Une coupe, de l'amont vers l'aval, montre :

- Un parement amont constitué de moellons de granit sur une épaisseur de 0,6 m environ,
- À l'aval du parement, une zone d'épaisseur 2 m constituée d'un béton dosé à 280 kg de ciment par m³.
- Le reste du corps du barrage constitué d'un béton dosé à 185 kg de ciment par m³.

Depuis sa construction, le barrage a fait l'objet de peu de travaux de réfection exceptés quelques travaux de rejointoiement du parement amont. En revanche, différentes campagnes

de reconnaissance ont mis en évidence un processus de vieillissement important des bétons du barrage.

A titre indicatif, les résultats d'essai de mesure de la résistance à la compression obtenus au cours des trois campagnes de 1945, 1982 et 1999 sont donnés ci-après (Tableau 2.4.).

Ils montrent que la résistance moyenne à la compression des bétons est inférieure à la moitié de sa valeur initiale après 55 ans d'exploitation.

Tableau 2.4. Résultats d'essais de mesure de la résistance à la compression. (Lino ISL.M, 2001)

	Résultats 1945	Résultats 1982	Résultats 1999
Résistance moyenne à la compression des échantillons de béton B280	59.2 MPa	28.2 MPa	22.3 MPa
Résistance moyenne à la compression des échantillons de béton B185	37.5 MPa	21.9 MPa	15.4 MPa

Ces résultats sont corrélés avec une augmentation régulière des débits de percolation collectés et mesurés au niveau de la galerie de drainage et à l'aval du barrage.



(a) Parement amont du barrage.



(b) Vue d'ensemble du parement aval.



(c) Dégradation du parement aval

Figure 2.7. Dégradation du Barrage de Beli Iskar (BOUHALALI M., 2006).

2.3.2.5. L'envasement

Dans de nombreux pays du monde, le transport des sédiments dans le réseau hydrographique des bassins versants et leur dépôt dans les retenues pose aux exploitants des barrages des problèmes dont la résolution ne peut qu'être onéreuse. Non seulement la capacité utile est progressivement réduite au fur et à mesure que les sédiments se déposent dans la retenue.

Cette réduction de la capacité de stockage de l'eau est sans aucun doute la conséquence la plus dramatique de l'envasement: chaque année le fond vaseux évolue et se consolide avec occupation d'un volume considérable de la retenue par exemple l'Algérie perd annuellement une capacité estimée à 20 millions de m³ par le dépôt des sédiments dans les retenues (Tableau 2.5.).

Tableau 2.5. Capacités de certains barrages Algériens en l'an 2010. (REMINI B.2007)

Barrages	Capacité initiale (10 ⁶ m ³)	Quantité de vase en 2010 (10 ⁶ m ³)
Fergoug	18	31
Zardezas	31	37
Oued El Fodda	228	82
Ghrib	280	227
K'sob	11.6	11.1
Foum El Gherza	47	39.5

Obturation des organes de vidange

Un autre danger présenté par l'envasement est celui du non fonctionnement des organes de vidange de fond. Le cas du barrage d'OUED EL FODDA (Chleff) peut servir d'exemple: en effet, la vanne de fond a été bloquée depuis 1948 et elle se trouve maintenant sous plus de 40m de vase; toute opération de vidange de la retenue est de ce fait impossible.

Un autre cas à signaler pourrait être celui du barrage de FOUM EL GHERZA (Biskra) où la vanne de fond a été bloquée de 1982 à 1989.

2.3.2.6. Sous pression

La rupture du barrage de Bouzey (France) (barrage poids en maçonnerie, d'une hauteur de 18 mètres, construit en 1880) (Vosges), en avril 1895, a fait 87 morts. Il s'agissait d'une rupture brusque, mais qui avait été précédée par l'apparition de fissures et de déformations importantes. La rupture est imputable au comportement du corps du barrage, avec comme cause principale l'apparition de sous-pressions (Deroo L.,2011).

L'analyse des causes de la rupture du barrage de Bouzey a considérablement fait progresser la compréhension des mécanismes de rupture des barrages poids. En particulier, le mécanisme de création de fissure en pied amont de barrage et de propagation des sous-pressions dans l'ouvrage, ont permis de définir des règles de dimensionnement beaucoup plus fiable pour les ouvrages ultérieurs.



Figure 2.8. La rupture du barrage de Bouzey (Deroo L.,2011).

2.3.2.7. Glissement terrain

Nous pourrions illustrer ce point par le glissement en rive gauche du barrage du Vajont (Italie), ce dernier a une hauteur de 265,5m pour une longueur en crête de 190,5m. L'épaisseur au couronnement est de 3,40 m et son épaisseur à la base de 22,71m.

La mise en eau du réservoir a commencé en mars 1960. Durant l'automne 1960, on constata un fluage d'une grande surface de rive gauche près du barrage et en éboulement superficiel de 700 000 m³. Le niveau du réservoir a été réduit et le mouvement cessa quelques semaines plus tard. Pendant l'été 1960, le remplissage se poursuivit après l'exécution d'un tunnel by-pass autour de la zone de glissement. Le mouvement a été réactivé lorsque le niveau de la retenue atteignit une cote supérieure de 25 m à la cote atteinte précédemment.

Le niveau fut alors réduit et le glissement s'arrêta quelques semaines plus tard. En été 1963, l'opération de remplissage, ainsi que le mouvement reprirent. En octobre 1963, le glissement se transforma en un éboulement soudain d'une masse rocheuse d'environ 250 millions de m³. Elle chassait 40 millions de m³ d'eau qui ont passé 260m au-dessus du barrage pour s'écouler dans la gorge de vallée et détruire 4 villages. Le barrage ne s'est pas rompu (hydropower & dams).



Figure 2.9. Glissement en rive gauche du barrage du Vajont (hydropower & dams)

2.3.2.8. Gonflement du béton

Le barrage du Chambon (France) est un ouvrage poids d'une hauteur de 88 m au-dessus du terrain naturel et d'une longueur en crête de 294 m, construit entre 1929 et 1935. Il est composé de béton cyclopéen, dont le dosage en ciment varie de 150 à 250 kg/m³. L'axe du barrage est rectiligne en rive droite et en zone centrale et courbe côté rive gauche.

Le barrage est situé dans les Alpes, sur la haute Romanche, et accueille sur son couronnement une route d'importance nationale à une altitude de 1042 m. La largeur de l'ouvrage est de 5 m en crête et 70 m à sa base (CHULLIAT O. TQUET B. & BOUTET J.M., 2013).

Le barrage du Chambon est soumis à un phénomène d'alcali-réaction (réaction chimique) important, entraînant un certain nombre de désordres, conséquences du gonflement du béton. Les principaux concernent l'apparition d'une fissuration verticale dans le barrage ce qui favorise la circulation d'eau, susceptible d'affecter son intégrité sous séisme, et le développement d'importantes contraintes de cisaillement dans la structure.

2.3.2.9. Séisme

On connaît peu de cas graves dans le monde comme la rupture du barrage de San Fernando (Van Norman ; USA) ; le 9 février 1971, au matin, un violent séisme de magnitude 6.6 issu d'une faille de 20 Km ébranla la vallée de San Fernando, dans laquelle étaient construits les barrages en remblai amont et aval de San Fernando. Le barrage amont présenta des signes de fissuration et de déformations irréversibles, tandis que la recharge amont du barrage aval glissa de 46 m dans la retenue. Une revanche résiduelle de 1.4m de matériau en place fissuré subsista. Les reconnaissances montrèrent que la liquéfaction d'une partie inférieure de la recharge était responsable du glissement .le déplacement maximal du pied amont fut de 61m .L a reconstitution de l'accélérogramme établit l'accélération maximal entre 0.55 et 0.6g et que le glissement se manifesta 20 à30 secondes après l'arrêt des secousses .la recharge amont glissa pendant 40s à la vitesse de 1.5 m/s ; la retenue n'était pas pleine d'étanchéité (SCHLEISS A.J. & POUGATASCH H., 2011).



(a)



(b)

Figure 2.10. La rupture du barrage de San Fernando (SCHLEISS A.J. & POUGATASCH H., 2011).

2.3.2.10. Lâcher d'eau

Dans le cadre de l'exploitation d'ouvrages hydroélectriques, les exploitants procèdent régulièrement à des lâchers d'eau pour des raisons de production, d'entretien ou pour écouler les crues. Ils peuvent intervenir à tout moment, même par beau temps. Bien qu'effectués par paliers (ce qu'on appelle des vagues d'alerte), ces lâchers d'eau provoquent la montée du niveau de l'eau.

- le 5 décembre 1995 lors d'une sortie scolaire dans le lit du Drac (Isère, France), sept victimes noyées à la suite du lâcher d'eau d'un barrage (Bereysse D., 2009).
- Le 29 janvier 2006, sur le barrage de (Tuilière, France), sur la haute Dordogne : dans la nuit, la paire de contrepoids, de 80 tonnes chacun, équilibrant une des huit vannes du barrage a cédé. La vanne est partie. La retenue de cinq millions de m³ s'est aussitôt vidée. Le débit de la Dordogne, de 140 m³/s, a grimpé durant quelques heures à 480 m³/s. en aval, la montée de l'eau s'est étalée en une vague de seulement 70 cm de haut. L'évènement a été classé rouge selon la procédure de déclaration et de traitement des évènements importants pour la sûreté hydraulique. Il n'y a pas eu de victimes, mais les conséquences affaiblissent des berges, envasement, etc. (Bereysse D., 2009).

2.3.2.11. Les évènements climatiques

Les évènements climatiques peuvent avoir des conséquences dramatiques. Ainsi, le barrage de Shakidor aux Balouchistan (sud-ouest du Pakistan), s'est effondré en février 2005, le barrage n'a pas pu résister à une semaine de pluies torrentielles et de chutes de neige exceptionnelles la rupture de ce barrage de 150 m de long a causé plus de quatre-vingt victimes et quatre cents disparus (Bereysse D., 2009).

2.3.2.12. La font de neige

Le réservoir de stockage de déchets *d'Iowa Beef Processors* (USA) s'effondre en janvier 1993 à la suite de la fonte des neiges qui élève le niveau des eaux stockées. L'eau s'infiltrait alors dans des trous creusés par les animaux près de la crête du barrage et ruine l'ouvrage par érosion interne (Bereysse D., 2009).

La figure 2.11. représentée ci-dessous schématise une classification des principaux risques qui conduisent à la rupture du barrage.

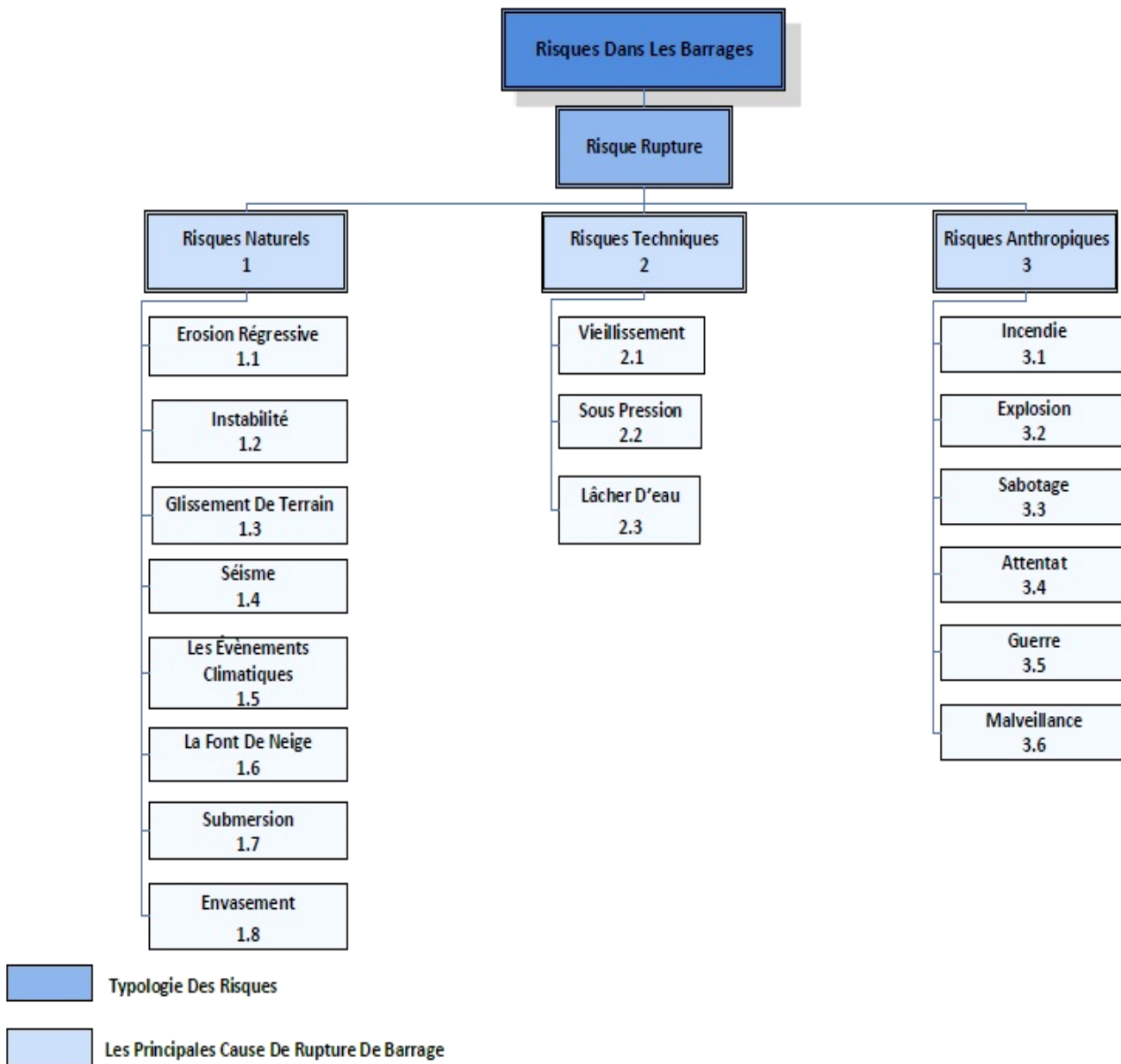


Figure 2.11. Classification des principaux risques qui conduisent à la rupture du barrage.

2.4. MANAGEMENT DE RISQUE PROJET : Méthodes, Processus Et Outils

Avec la nécessité de coordonner des tâches complexes, de gérer des problèmes d'ordonnancement, la 2^{ème} guerre mondiale a favorisé l'apparition de la gestion de projet. Cependant, ce n'est qu'en 1984 que le Project Management Institute (PMI) propose le Project Management Body of Knowledge (PMBoK), dont la première édition fut publiée en 1996. Celui-ci a pour objectif de documenter et standardiser les informations et les pratiques de la gestion de projet.

Le risque étant inhérent à la gestion de projet, le management des risques dans un projet est maintenant reconnu comme l'une des missions du chef de projet et de son équipe. Le management des risques est un processus d'identification, d'analyse et de réponse aux risques susceptibles d'impacter un projet tout au long de sa vie afin de fournir une base de travail rationnelle pour l'anticipation et la prise de décision. Une bonne gestion des risques nécessite de manager des événements futurs possibles de façon proactive plutôt que réactive. Ce processus doit donc être intégré dans le processus de management du projet. Sa mise en œuvre doit permettre de réduire la probabilité d'un événement, mais aussi l'ampleur de son impact (NGUYEN T.H., 2011).

C'est l'équipe projet, sur la base des risques identifiés et de leur analyse, qui doit proposer des actions préventives adaptées. Cela nécessite d'identifier les points suivants :

- Les risques ou combinaisons de risques qui sont les plus dommageables pour le projet, (ceux qui entraînent les plus grandes perturbations).
- Les actions correctives à retenir pour réduire le plus possible les perturbations tout en respectant des objectifs du projet. Par exemple, le coût des actions correctives ne doit pas dépasser le gain total espéré par la mise en place de ces actions.

Pour cela, l'équipe projet doit être en mesure de répondre aux questions suivantes :

- quelle est la durée maximale possible du projet ?
- Quelle est la probabilité qu'un scénario fictif de risque survienne ?
- Quel est le coût d'une stratégie adoptée ? Quel est l'impact de cette stratégie en termes de réduction du risque ?

2.4.1. Analyse des risques

L'analyse de risques a trouvé ses applications en premier lieu dans les secteurs industriels et des systèmes mécaniques complexes, en particulier dans les milieux aéronautiques et du

nucléaire. La phase d'analyse des risques constitue une étape charnière dans le processus de gestion des risques. En effet, en l'absence d'une analyse suffisamment détaillée, le processus de management des risques lui-même risque de s'étirer et de tourner en rond.

2.4.1.1. Définition de l'analyse des risques

L'analyse du risque est définie comme suite :

- « *L'utilisation des informations disponibles pour identifier les phénomènes dangereux et estimer le risque.* » (ISO/CEI Guide 51, 1999)
- « *Utilisation systématique d'informations pour identifier les facteurs de risque et pour estimer le risque.* » (ISO/CEI Guide 73, 2002)
- « *Analyse: Étude minutieuse, précise faite pour dégager les éléments qui constituent un ensemble, pour l'expliquer, l'éclairer : Faire l'analyse de la situation.* » (Larousse, 2005)

2.4.1.2. Les différentes démarches d'analyse des risques

2.4.1.2.1. Démarche « inductive » et « déductive »

L'application des méthodes de sécurité des systèmes fait appel aux raisonnements par induction et par déduction (Figure 2.12.). Cette terminologie désigne deux procédures complémentaires d'identification et d'analyse du risque, qui s'expriment concrètement par l'utilisation de techniques particulières. Les plus connues sont « l'analyse des modes de défaillance et de leurs effets » (AMDE) pour la démarche inductive et « l'analyse par arbre des défauts » (ADD) pour la démarche déductive.

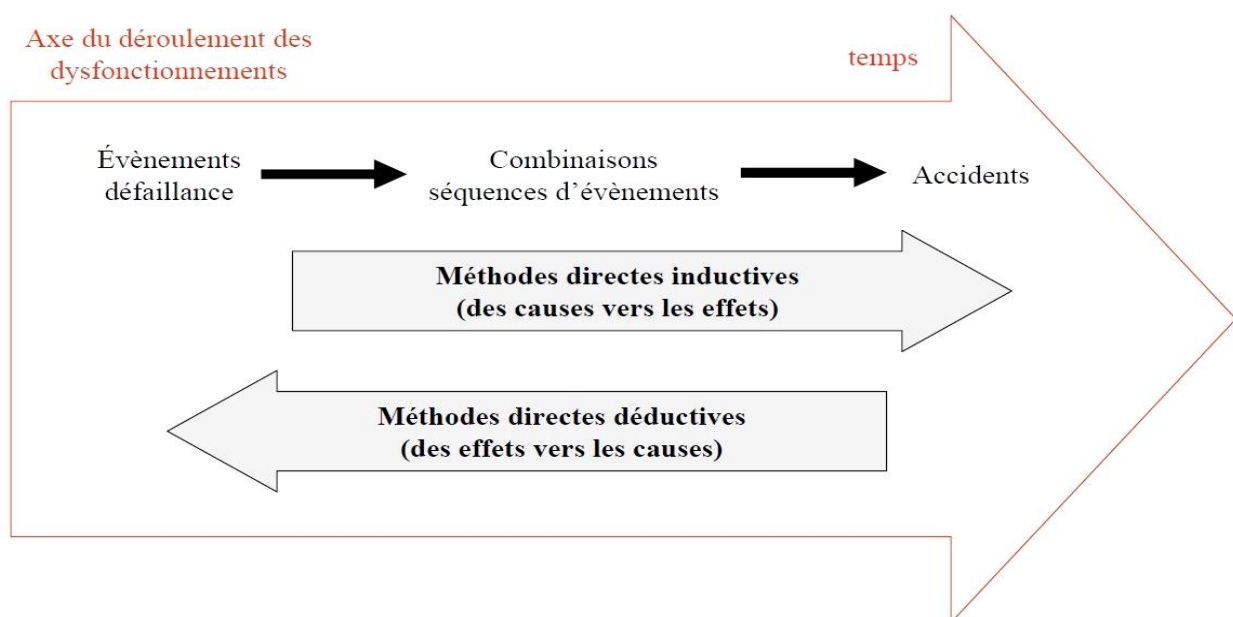


Figure 2.12. Démarche inductive et déductive (Bounie D., 2008)

2.4.1.2.2. Démarche « qualitative » et « quantitative »

Les analyses quantitatives sont supportées par des outils mathématiques ayant pour but d'évaluer la sûreté de fonctionnement et entre autres la sécurité. Cette évaluation peut se faire par des calculs de probabilités (par exemple lors de l'estimation quantitative de la probabilité d'occurrence d'un événement redouté).

Quoique l'utilité des méthodes quantitatives soit indiscutable, ces dernières présentent tout de même un certain investissement en temps, en efforts et également en moyens (logiciels, matériels, financiers, etc.). Il peut s'avérer que cet investissement soit disproportionné par rapport à l'utilité des résultats attendus, le cas échéant l'analyse quantitative est court-circuitée pour laisser la place aux approximations qualitatives (statistiques, retour d'expérience, jugement d'expert, etc.).

Les analyses qualitatives consistent à donner une appréciation. Nous chercherons à déterminer quelles occurrences sont possibles (Mazouni M.H., 2008).

2.4.1.2.3. Démarche « statique » et « dynamique »

Une méthode dynamique permet de prendre en compte l'évolution de la configuration des composants du système au cours du temps. Alors qu'une méthode statique étudie un système à différents instants de son cycle de vie, c'est-à-dire pour différents états possibles sans pour autant s'intéresser aux transitions entre ces états (BOUHALALI M., 2006).

2.4.1.2.4. Des approches innovantes pour le diagnostic des barrages

Dans cette section, nous dressons un panorama sur le diagnostic et de l'analyse de risques appliqués aux barrages, en décrivant les approches développées dans leur contexte général :

- *L'approche par expertise* est utilisée prioritairement dans le cadre de diagnostic rapide, sur des ouvrages où l'on dispose de peu d'informations et lors d'études préliminaires de sécurité. Elle intervient également en synthèse et validation d'analyses approfondies.
- Pour des études précises, *la modélisation physique* permet l'analyse de la stabilité d'un ouvrage et de son comportement.
- *L'approche statistique* est réservée au traitement des données d'auscultation, qui est le seul domaine des barrages où les informations disponibles sont abondantes.
- Enfin, *l'approche par modélisation fonctionnelle* a été mise en œuvre récemment sur quelques études de sûreté de fonctionnement de grands ouvrages. Il s'agit d'une

approche systémique, qui permet de déterminer les risques les plus importants et de hiérarchiser les actions de maintenance sur un ouvrage ou au sein d'un parc. Toutefois, elle relève encore du domaine de la recherche et de développement.

La figure (2.13.) synthétise les différentes approches du diagnostic et de l'analyse de risques pratiquées dans le domaine des barrages (PEYRAS L., 2002).

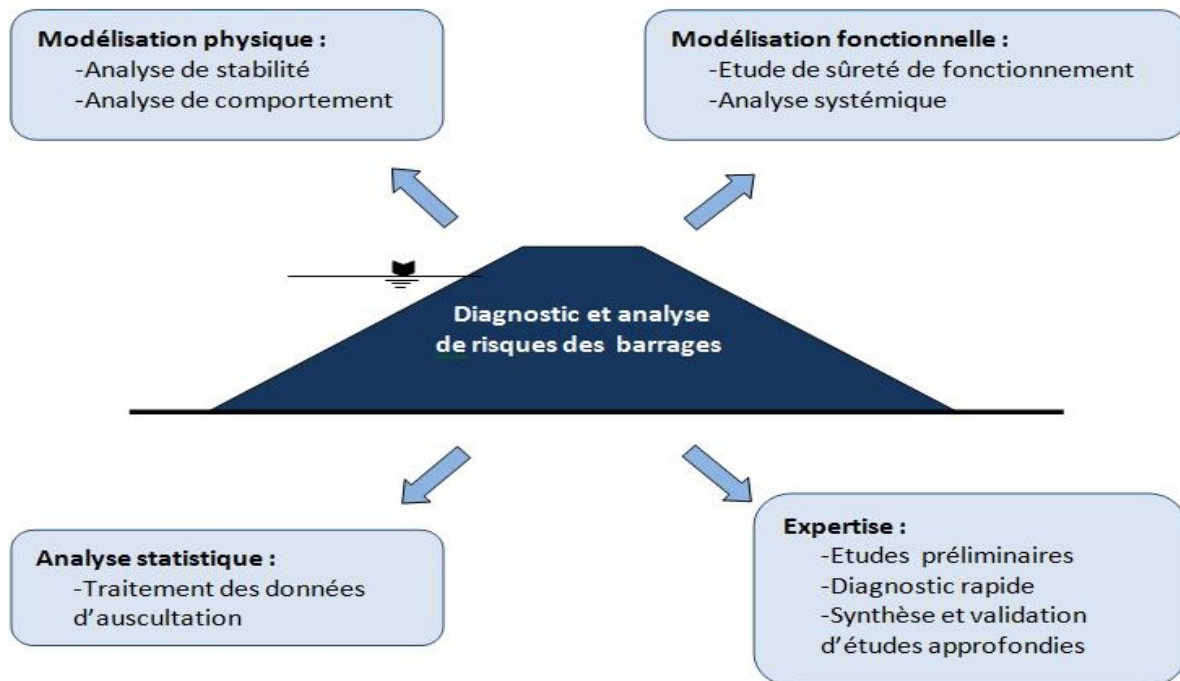


Figure 2.13. Les différentes approches du diagnostic et de l'analyse de risques pratiquées dans le domaine des barrages ((PEYRAS L., 2002)

2.4.1.3. Évaluation du risque

« *Evaluation: Action d'évaluer, de déterminer la valeur de quelque chose : Faire l'évaluation d'une fortune, d'une distance.* » (Larousse).

Intuitivement, on admet facilement qu'il y a une équivalence entre un événement rare et grave et un événement fréquent et bénin. Exprimer explicitement et clairement cette équivalence est l'expression d'une échelle de valeurs : c'est un acte de stratégie et non l'expression d'une vérité scientifique (MORTUREUX Y., 2005).

Quand la fréquence et la gravité s'expriment en chiffres, il est usuel de faire le produit des deux (qu'on appelle souvent criticité, mais ce terme connaît diverses acceptions). La façon la plus parlante d'exprimer le risque est de placer chaque événement redouté étudié sur un plan dans un repère dont les axes sont la fréquence f (probabilités d'occurrence de l'accident) et la gravité g . (figure2.14.)

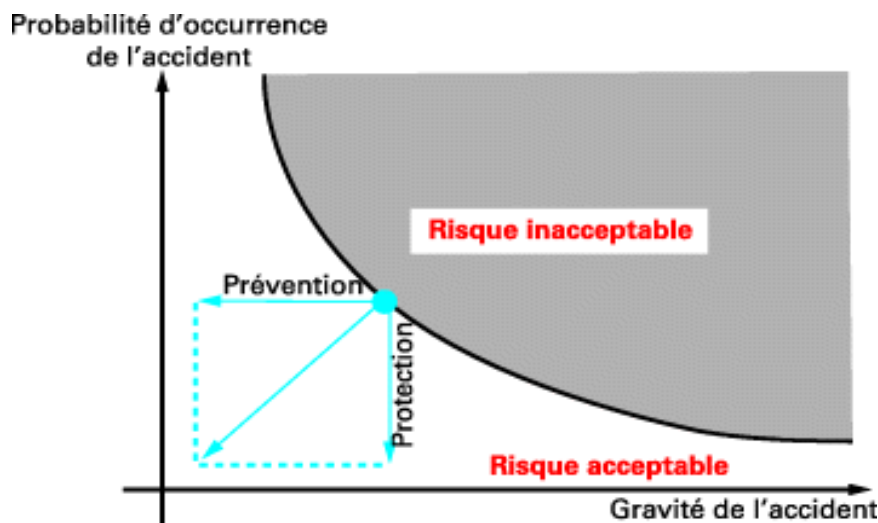


Figure 2.14. Diagramme de Farmer ou diagramme fréquence-gravité

2.4.1.3.1. Gravité

La gravité est la valeur accordée à l'événement. Il est plus parlant, puisque l'on parle d'événements redoutés, de dire « le prix que l'on est prêt à mettre pour éviter l'événement ». Il faut tout de suite remarquer que la gravité est une grandeur subjective. Elle dépend de l'événement, mais tout autant du point de vue duquel on l'évalue. Les gravités s'expriment souvent sur des échelles de gravité (usuellement à trois, quatre ou cinq niveaux).

2.4.1.3.2. Fréquence

C'est l'inverse d'un temps, un nombre d'occurrences par unité de temps. Derrière cette apparente simplicité se cache une notion pleine de difficultés.

- Le temps en question peut s'exprimer en plusieurs dimensions comme heures, jours ou années. Encore faut-il préciser si ce sont des jours de calendrier ou des jours ouvrables, des heures sous tension électrique ou des heures de fonctionnement, etc.
- Au cours d'une étude, on est donc amené à combiner des fréquences exprimées relativement à des temps différents

Dans une démarche d'évaluation des risques, le choix de l'unité est imposé par le modèle qui décrit le plus fidèlement le comportement du système étudié et qui donne la plus grande confiance dans l'extrapolation de l'avenir à partir du passé.

Dans une démarche d'acceptation de risques, le choix de l'unité exprime un modèle d'acceptation de risques.

2.4.2. La norme ISO 31000:2009

ISO 31000:2009, Management du risque – Principes et lignes directrices, fournit des principes, un cadre et des lignes directrices pour gérer toute forme de risque. Cette norme peut être utilisée par tout type d'organisme sans distinction de taille, d'activité ou de secteur. Les organisations qui ont recours à ISO 31000 augmentent leurs chances d'atteindre leurs objectifs, sont mieux à même de cerner les opportunités et les menaces et d'allouer et d'utiliser efficacement les ressources pour le management des risques.

ISO 31000 ne se prête pas à des fins de certification. Elle donne des orientations pour les programmes d'audit internes ou externes. Les organisations qui l'utilisent peuvent évaluer leurs pratiques en matière de management du risque au regard d'un référentiel reconnu au niveau international, qui offre des principes rigoureux pour un management et une gouvernance efficaces.

2.4.2.1. Normes associées

D'autres normes se rapportent également au management du risque.

- Le Guide ISO 73:2009, *Management du risque – Vocabulaire*, qui complète ISO 31000 en fournissant un ensemble de termes et définitions relatifs au management du risque.
- ISO/IEC 31010:2009, *Gestion des risques – Techniques d'évaluation des risques*,
- ISO/TR 31004:2013, un nouveau rapport technique vient compléter la démarche du management du risque.

2.4.2.1.1. L'ISO Guide 73:2009

Ce guide fournit les définitions de termes génériques relatifs au management du risque. Son but est d'encourager une compréhension commune homogène et une approche cohérente de la description des activités relatives au management du risque, ainsi qu'une utilisation uniforme de la terminologie du management du risque dans les processus et cadres organisationnels en rapport avec ce domaine.

L'ISO Guide 73:2009 est à l'usage

- des personnes chargées du management des risques,
- des personnes impliquées dans les activités de l'ISO et de la CEI, et

- des personnes chargées de rédiger des normes, guides, procédures et codes de bonne pratique relatifs au management du risque, soit spécifiques d'un secteur, soit à l'échelle nationale.

Concernant les principes et lignes directrices du management du risque, il est fait référence à l'ISO 31000:2009.

2.4.2.1.2. ISO/CEI 31010:2009

C'est une norme axée sur l'évaluation des risques, qui donne aux décideurs un meilleur éclairage sur des risques pouvant gêner la réalisation des objectifs et leur permet d'évaluer l'adéquation et l'efficacité des contrôles déjà mis en place. Cette norme traite des concepts de l'évaluation des risques, des processus et de la sélection des techniques d'évaluation des risques.

C'est norme a double logo CEI/ISO, préfixe seul CEI, norme d'accompagnement de l'ISO 31000 et fournit des lignes directrices permettant de choisir et d'appliquer des techniques systématiques d'évaluation des risques. La présente norme n'est pas destinée à être utilisée à des fins de certification, de réglementation ou contractuelles.

La présente norme ne traite pas spécifiquement de la sécurité. C'est une norme générale de gestion des risques et toute référence à la sécurité est purement de nature informative. Les lignes directrices sur l'introduction des aspects de sécurité dans les normes CEI est définie dans le Guide ISO/CEI 51.

2.4.2.1.3. ISO/TR 31004:2013

Le rapport technique ISO/TR 31004, nous aidera à établir un système ou à aligner les éléments en place pour détecter, comprendre et gérer les risques selon l'approche d'ISO 31000.

ISO/TR 31004 est une aide complémentaire pour mettre en œuvre ISO 31000 plus efficacement. Il propose :

- Une approche structurée pour gérer de façon optimale le passage de vos anciennes pratiques de management du risque à celles d'ISO 31000.
- Une explication des concepts sous-jacents d'ISO 31000 avec des recommandations et des exemples pratiques qui répondent aux besoins spécifiques.
- Des recommandations supplémentaires sur les principes et le cadre organisationnel de management du risque expliqué dans ISO 31000.

2.4.2.2. Structure de la norme ISO 31000

La norme ISO est découpée en 3 grandes parties (figure 2.15.) :

- Principes du management des risques ;
- Développement et intégration du processus de management du risque dans l'organisme (cadre organisationnel) ;
- Processus de management des risques.



Figure 2.15. Structure de la norme ISO 31000 (DALI A. ,2008)

2.4.2.2.1. Les principes du management des risques

- Créée de la valeur
- Fait partie intégrante des processus organisationnels
- Élément de la prise de décision
- Traite explicitement de l'incertitude
- Systématique, structuré et en temps utile
- S'appuie sur la meilleure information disponible
- Adapté à chaque situation
- Tient compte des facteurs humains et culturels
- Transparent et participatif
- Dynamique, itératif et réactif au changement
- Facilite l'amélioration continue et le développement permanents de l'organisme

2.4.2.2.2. Cadre organisationnel

C'est un ensemble d'éléments établissant les fondements et dispositions organisationnelles présidant à la conception, la mise en œuvre, la surveillance, la revue et l'amélioration continue du management du risque dans tout l'organisme (ISO Guide 73, 2009). Le cadre organisationnel (« Framework » en anglais) a pour but de gérer les conflits d'une façon plus large et d'intégrer les activités de management du risque dans celles de l'organisme.

Ce cadre est défini par un processus qui permet la mise en place des processus de management des risques ainsi que leur amélioration continue (figure 2.16.).

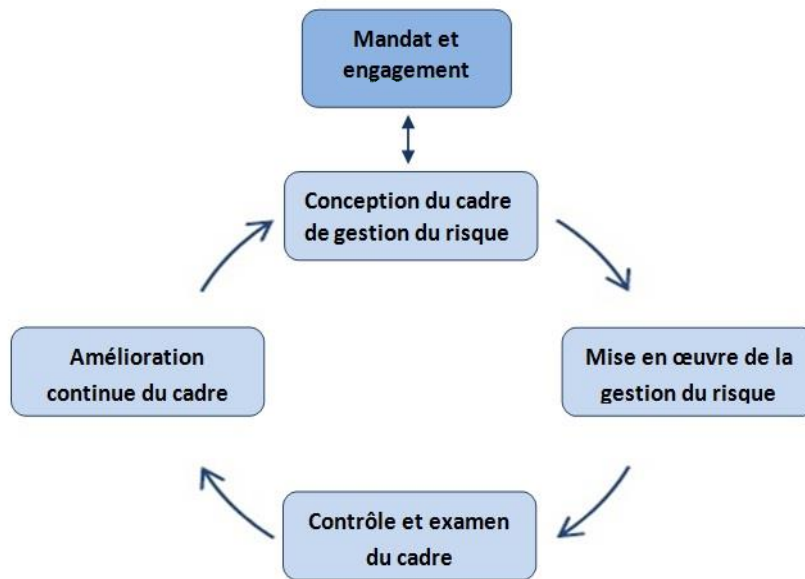


Figure 2.16. Cadre organisationnel du risque (ISO 31 000 ,2009)

2.4.2.2.3. Processus de management

Le processus de mangement du risque se décompose selon la norme ISO 31000 : 2009 en sept activités, comme schématisé sur la figure 2.17.

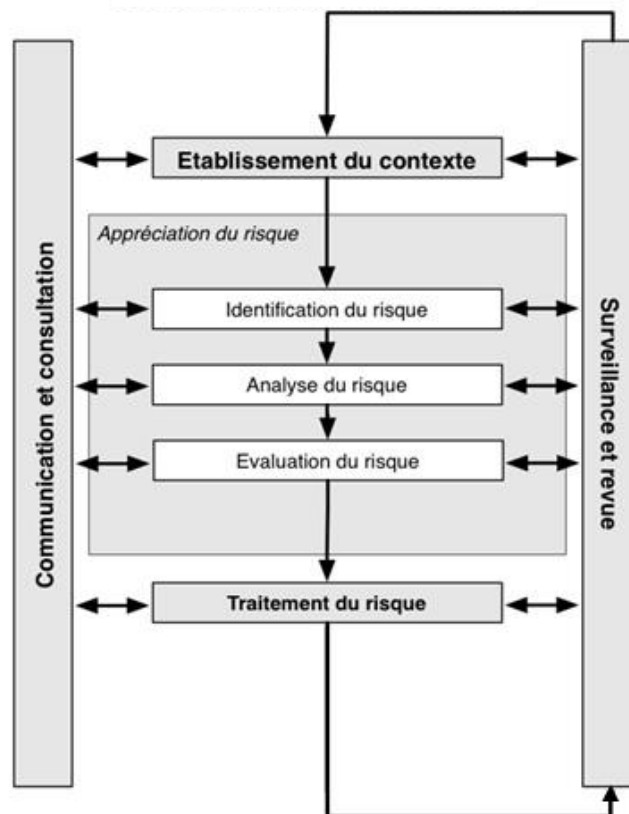


Figure 2.17. Processus de management du risque selon l'ISO 31000 : 2009

2.4.3. Survol sur les outils et méthodes de maîtrise des risques

Bien qu'il soit possible d'utiliser les méthodes de management des risques au sens large pour les risques projet, il existe également des travaux académiques ou industriels qui ont contribué au développement de méthodes adaptées. Dans ce travail, nous présentons ci-dessous les principes de quelques méthodes et les outils d'analyse des risques tirés de (BOUNIE D., 2008).

- **Arbre des défaillances**

Permet de déterminer les diverses combinaisons d'événements qui génèrent une situation indésirable unique, dont le diagramme logique est réalisé au moyen d'une structure arborescente.

- **APR (Analyse Préliminaire des Risques)**

Consiste à identifier les divers éléments dangereux présents dans le système étudié et à examiner pour chacun d'eux comment ils pourraient conduire à une situation accidentelle plus ou moins grave, suite à un événement initiant une situation potentiellement dangereuse.

- **Arbre des conséquences**

Permet d'élaborer un diagramme présentant l'ensemble d'éventualités résultant de diverses combinaisons d'événements. Le développement de l'arbre débute par un événement initiateur et progresse selon une logique binaire : chaque événement conduit à identifier deux états successifs possibles, l'un acceptable et l'autre non. Cette démarche fournit ainsi la séquence logique des différents événements susceptibles de se produire en aval de l'événement primaire et permet donc leur évaluation.

- **AMDE et AMDEC**

AMDE : consiste à considérer systématiquement, l'un après l'autre, chacun des composants du système étudié et à analyser les causes et les effets de leurs défaillances potentielles.

AMDEC : équivalent à l'AMDE, en y ajoutant la criticité du mode de défaillance, dont l'estimation nécessite la connaissance des probabilités d'occurrence des défaillances, et les gravités de leurs effets.

- **Méthode HAZOP** (HAZard and OPerability study)

Étudie l'influence de déviations des divers paramètres régissant le procédé analysé par rapport à leurs valeurs nominales de fonctionnement. A l'aide de mots-clefs, les dérives imaginées de chaque paramètre sont examinées systématiquement afin de mettre en évidence leurs causes, leurs conséquences, les moyens de détection et les actions correctives.

- **Nœud de Papillon**

C'est une approche d'analyse et de gestion probabiliste des risques, largement utilisée dans le milieu industriel. Cette approche combine un arbre de défaillances à un arbre d'événements autour d'un événement redouté central. Elle permet de visualiser :

- Les scénarios d'accidents qui pourraient survenir en partant des causes initiales de l'accident jusqu'aux conséquences au niveau des cibles identifiées
- Les barrières de sécurité de prévention mises en place pour l'empêcher, s'il devait survenir, comment on tenterait d'en minimiser les conséquences par la mise en place de barrières de sécurité de protection.

- **MADS-MOSAR** (Méthodologie De Dysfonctionnement Des Systèmes) - (Méthode Organisée et Systémique d'Analyse de Risque) est un ensemble ordonné de manière logique, de principes, de règles, d'étapes, permettant de parvenir à une analyse des risques d'un système. Le but de la méthode consiste à :

- Identifier et évaluer les risques du système considéré
- Négocier les objectifs et l'acceptabilité des risques par les acteurs concernés
- Intégrer les réglementations spécifiques
- Intégrer l'approche déterministe et probabiliste
- Mise en œuvre de concepts logiques
- Mise en œuvre de concepts systématiques : découpages recouvrant l'éventail des possibilités de risque

- Mise en œuvre de concepts systémiques : mise en relation des différents points de vues des cibles et modélisation des acteurs du système
- Faire un travail de groupe
- Mise en œuvre d'outils (AMDEC. HAZOP. arbres de défaillances.etc.)
- Avoir une vision macroscopique (risque de proximité) puis microscopique (risque interne) de l'installation

Cette méthode se décompose en deux grands modules (A et B). Le premier étant une analyse macroscopique du système, le second étant une analyse microscopique.

Une comparaison entre les différentes méthodes identifiées ci-dessous est faite dans (le tableau 2.6.) suivant, à l'issue des présentations de chacune d'elles.

Tableau 2.6. Synthétique des caractéristiques des méthodes (DJAOUT I., 2009).

Méthode	Objectif Principal	Intérêts de la méthode	Limites de la méthode	Domaine d'application	Simplicité d'utilisation
APR	Identifier les scénarios d'accident en présence de danger	Outil adapté pour l'identification et la hiérarchisation des risques. Approche globale de la gestion des risques	Ne convient pas pour une analyse détaillée des risques	Tout type d'industrie	Simple
HAZOP	Identifier les dangers suite à une déviation des paramètres d'un procédé	Présente un caractère systématique et méthodique.	Destinée à des procédés fabrication dépendants de paramètres physiques et chimiques soumis à des contrôles	S'applique aux industries de procédés (industrie chimique)	Simple
AMDEC	Identifier les effets des modes de défaillance des composants sur le niveau système	Permet d'objectiver par des valeurs chiffrées les risques potentiels, et de mesurer ensuite les améliorations apportées.	Permet d'objectiver par des valeurs chiffrées les risques potentiels, et de mesurer ensuite les améliorations apportées.	Tout type d'industrie. (Automobile : Renault)	Simple
Arbres des défauts	Identifier les causes combinées à partir de la définition d'un évènement redouté au niveau système	Adaptée à l'analyse détaillée d'un évènement complexe. Constitue un outil de première intention.	Repose sur des notions de logique (et/ou) difficiles à acquérir, et sur une représentation graphique qui ne peut être aisément mise en œuvre sans logiciel	Tout type d'industrie	Complexe
MOSAR	Identifier les risques techniques d'une installation humaine et les moyens de prévention nécessaires pour les neutraliser	Identifie les moyens de prévention et protection pour des événements non pris en compte par la réglementation Intègre le retour d'expérience dans la genèse de scénarios.	Appliquée à des installations industrielles.	Installations industrielles	Simple

2.4.4. Champs d'application d'analyse des risques dans le domaine des barrages

Une analyse de risques peut être conduite à tous les stades du projet (conception, projet détaillé), de la construction et de l'exploitation du barrage. Il faut relever qu'au cours du temps l'état, les impacts, les dangers et les critères peuvent évoluer, ce qui peut conduire à une révision des programmes établis et à des analyses entreprises ultérieurement.

Par ailleurs, l'analyse des risques ne se limite pas seulement à l'évaluation de la sécurité de barrages. Outre les domaines classiques de la géotechnique, des crues et de la sismologie, il y a d'autres thèmes où cette analyse entre en considération dans l'ingénierie des barrages (Kreuzer, 2000), notamment :

- L'aide à la décision dans les considérations sur le rapport coûts /bénéfice pour des nouveaux barrages ou des travaux de transformation de barrages existants ;
- La classification des dangers pour les barrages existants ;
- La préparation des plans d'alerte et de secours ; la définition de critères d'acceptation du risque par la population ;
- L'élaboration de recommandations et de la législation.

La raison de ces diverses applications est évidente, car les barrages sont des ouvrages à haut risque pour lesquels l'évaluation des risques est un procédé intéressant pour tenir compte des incertitudes et juger des impacts sur la société et l'environnement.

2.5. CONCLUSION

Un certain nombre de concepts et notions fondamentales du risque a été présenté. Des définitions de l'aléa, de la vulnérabilité et du risque sont proposées par les organisations internationales et les scientifiques.

Une rupture de barrage peut entraîner une lourde perte en vie humaine et des dégâts sérieux aux biens pour cela une campagne d'information comme le plan particulier d'intervention (PPI) doit être réalisée ; Son objectif est de faire connaître les risques et les consignes de sécurité spécifiques. Ces campagnes doivent être mises à jour périodiquement.

Le management de risques appliqué aux barrages est un domaine en pleine évolution au niveau international. Il y a un intérêt certain pour cette approche, mais une certaine prudence de la plupart des acteurs. On reconnaît les indéniables progrès du management de risques, sur les aspects transparence des hypothèses et de la démarche, sur sa prise en compte de l'ensemble des facteurs de risques.

D'où l'objectif essentiel du management de risques est la prise de décision en fonction du risque et des critères d'acceptation. Mais les outils mis en œuvre pour l'analyse d'un ouvrage peuvent être utilisés pour anticiper les aléas ou en limiter les conséquences et ainsi prioriser les actions à entreprendre pour la maîtrise des risques.

Après un survol sur les outils et les méthodes de maîtrise des risques dans ce chapitre ; on peut dire que la plupart des méthodes d'analyse des risques considèrent le risque comme un événement non désiré ou une défaillance survenant dans le fonctionnement des installations et de leurs équipements techniques. Elles prennent en considération les facteurs de risque qui peuvent affecter en terme de dysfonctionnement ou de problème ou encor d'erreur humaine.

Dans ce chapitre nous avons aussi constaté que l'analyse du risque permet, avant tout, d'identifier les causes et les conséquences potentielles d'évènements indésirables et met en lumière les barrières de sécurité existantes ou pouvant être envisagées au regard du risque.

CHAPITRE 3

Présentation du cas :

«Le projet de barrage voûte mince d'oued Taht wilaya de Mascara»



Figure 3.1. Fin des travaux d'excavation
(Barrage voûte mince d'oued That Wilaya de MASCARA).

*« L'avenir est quelque
chose qui se construit.
On ne subit pas l'avenir,
on le fait. »*

Georges Bernanos

3.1. INTRODUCTION

« Un projet est une démarche spécifique, qui permet de structurer méthodiquement une réalité à venir. Un projet est défini et mis en œuvre pour élaborer la réponse au besoin d'un utilisateur, d'un client ou d'une clientèle et il implique un objectif et des actions à entreprendre avec des ressources données. » (AFNOR)

Dans ce chapitre nous allons présenter notre cas d'étude : « le projet de barrage d'oued Taht wilaya de Mascara » ; qu'il fait partie des 14 barrages qui sont en cours de réalisation, pour augmenter la capacité de stockage d'eau de 2 milliards m³. Actuellement celle-ci est de 7 milliards m³ pour les 67 barrages en exploitation répartis sur le territoire national.

Ce chapitre présente aussi une analyse systémique et fonctionnelle à partir d'une décomposition hiérarchique du projet de barrage, pour objectif principal de viser et ressortir les différents risques pendant le déroulement de projet. Ces approches permettent une analyse exhaustive systématique des risques.

3.2. BASES POUR L'ELABORATION ET LA REALISATION D'UN PROJET DE BARRAGE

Un projet ne peut se concevoir et se concrétiser sans disposer de l'ensemble des paramètres et des informations caractéristiques relatif au site retenu. Ce paragraphe recense les points essentiels qui doivent être impérativement abordés. A ce sujet, la connaissance de la nature des fondations revête une importance primordiale. Il va donc sans dire que les reconnaissances géotechniques et géologiques constituent des étapes essentielles.

Ce passage définit les différents types de charge qui peuvent solliciter le barrage au cours de sa construction et son exploitation. C'est l'ingénieur qui est amené à fixer et à combiner les charges pour mener à bien ses calculs de vérification. Et il mentionne les diverses exigences administratives auxquelles est soumise la réalisation d'un projet. Ces obligations varient selon les pays.

3.2.1. Identification des conditions liées au site

Le choix du type de barrage est une tâche complexe qui nécessite la prise en compte d'un nombre particulièrement important de paramètres et d'informations. L'objectif est de proposer la solution la plus économique tout en garantissant le plus haut degré de sécurité et en minimisant les impacts causés par l'ouvrage, le chantier et l'exploitation.

Lors de l'identification de sites, les points principaux suivants sont examinés :

- La forme de la vallée (morphologie),
- La géologie,
- La disponibilité de matériaux de construction,
- La sismicité,
- Les conditions climatiques,
- La maîtrise des crues.

3.2.1.1. Conditions topographiques

il est indéniable qu'un support topographique est un outil Indispensable pour effectuer les relevés géologique, procéder à l'implantation du barrage et des ouvrages annexes, ainsi que pour déterminer le volume de la retenue en fonction du niveau du plan d'eau Les relevés du terrain doivent couvrir non seulement le site du barrage, mais également un secteur situé à l'aval et l'ensemble de la zone de retenue, de même que les zones d'emprunts de matériaux possibles. Ils doivent englober les versants dominant le bassin d'accumulation sur une hauteur suffisante.

Sous réserve des conditions géologiques, il importe de rechercher la topographie la plus favorable pour réaliser un projet fiable mais également économique. En général, un resserrement peut se révéler un avantage la morphologie de la vallée, étroite ou large, a une influence significative sur le choix du type possible de barrage. Dans certains cas, la géométrie de la vallée est inadaptée pour certains types de barrages qui peuvent être exclus d'emblée.

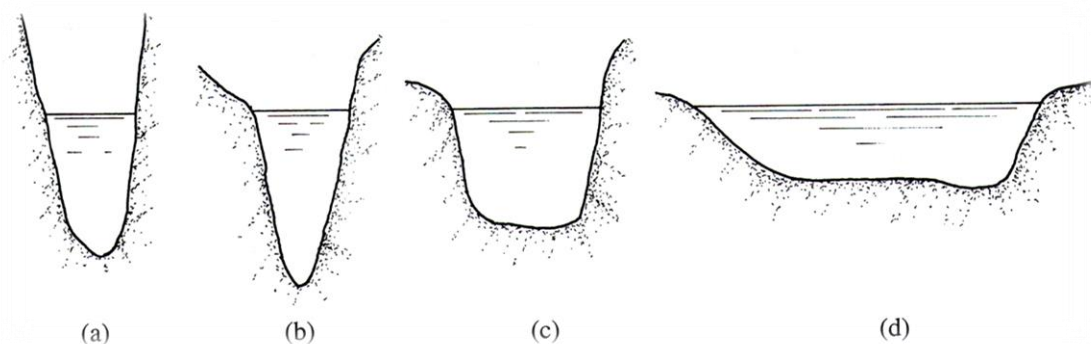


Figure 3.2. Représentation schématique des différentes formes de vallées :
(a) Gorge ou canyon ;(b) vallée en V ;(c) vallée en U ;(d) vallée large.
(SCHLEISS A.J. & POUGATASCH H., 2011).

3.2.1.2. Reconnaissances géologiques et géotechniques

La géologie est un point fondamental, car elle constitue un critère essentiel pour le choix du type de barrage. Une analyse détaillée de l'ensemble des paramètres géologiques doit être entreprise avant de pouvoir se prononcer sur la faisabilité de tel ou tel type de barrage. C'est aussi la raison pour laquelle un programme d'investigation est de première importance quel que soit le type d'ouvrage et ses dimensions pour acquérir une bonne connaissance du sous-sol. La nature, la qualité et les caractéristiques des fondations vont donc jouer un rôle prépondérant dans la sélection du type d'ouvrage.

L'étude de faisabilité qui doit être entreprise, est un travail conjoint de l'ingénieur, de l'ingénieur géologue et du géologue. Le géologue est amené à donner son avis en particulier sur les questions suivantes :

Bassin versant :

- géologie régionale ;
- conditions hydrogéologiques.

Réservoir :

- étanchéité du réservoir ;
- stabilité des versants et des rives ;
- transport et apports de matériaux solides.

Site :

- étanchéité des appuis ;
- stabilité des appuis ;
- stabilité des excavations en surface et souterraines ;
- écoulements souterrains ;
- degré et profondeur de l'altération superficielle.

Matériaux :

- inventaire des matériaux rocheux et meubles exploitables ;
- nature des carrières ;
- volumes approximatifs des matériaux rocheux et meubles disponibles pour la construction ;
- sismicité.

Il est évident que la précision des réponses aux questions augmente au fur et à mesure de l'avancement de l'étude.

Les prospections se font en surface sous forme de tranchées et de puits, ainsi qu'en profondeur par des forages et des galeries. On procède ensuite à l'exécution d'essais tant in situ qu'en laboratoire afin de mieux connaître les caractéristiques mécaniques et hydrauliques des sols et roches rencontrés.

Le tableau 3.1. donne un aperçu des principaux essais géomécaniques et géotechniques effectués in situ et en laboratoire.

Tableau 3.1. Les principaux essais géomécaniques et géotechniques effectués in situ et en laboratoire (SCHLEISS A.J. & POUGATASCH H., 2011).

	Terrains meubles	Terrains rocheux
Mode de prospection	Méthode géophysique Tranchées, puits Sondage de reconnaissance	Méthode géophysique Galeries Sondage de reconnaissance
Essais in situ	Caractéristiques mécaniques <ul style="list-style-type: none"> • Essai pressiométrique • Essai de pénétration (pénétromètre) • Essai scissométrique Perméabilité (essai d'eau) <ul style="list-style-type: none"> • Essai lefranc • Essai de pompage 	Caractéristiques mécaniques <ul style="list-style-type: none"> • Essai de cisaillement • Essai de charge (plaque ; vérin) • Essai de déformation • Elasticité de la roche Perméabilité (essai d'eau) <ul style="list-style-type: none"> • Essai Lugeon
Déterminés en laboratoire	<ul style="list-style-type: none"> • Identification des sols • Résistance au cisaillement • Angle de frottement interne • Cohésion • Tassement • Consolidation • perméabilité 	Résistance et déformabilité <ul style="list-style-type: none"> • Essai de cisaillement direct • Essai de compression simple • Essai de compression triaxiale • Essai dynamique (mesure du module de déformation) Caractéristique hydraulique <ul style="list-style-type: none"> • Essai de perméabilité

3.2.1.3. Recherche des matériaux

Quel que soit son type, la construction d'un barrage nécessite la mise en place de grandes quantités de matériaux. Les coûts de construction sont fortement influencés par le prélèvement, le transport et la mise en place des matériaux. Les zones d'emprunts devront donc se trouver à proximité immédiate du site, et les frais de traitement des matériaux (concassage, lavage, sélection) doivent être optimisés.

Le choix du type de barrage peut dépendre de la quantité et de la qualité des matériaux disponibles. Ces dernières doivent toutefois être suffisantes pour répondre aux spécifications exigées. Une des grandes difficultés des études préliminaires de barrages consiste à garantir avec une bonne précision une qualité suffisante et homogène pour toute la quantité nécessaire. Au niveau de la construction, il existe une différence essentielle entre les barrages en béton et les barrages en remblai :

- Pour un barrage en béton, le matériau de construction est un produit fabriqué industriellement, donc de qualité plus ou moins constante. En principe, seules les températures extrêmes peuvent empêcher la mise en place, surtout les températures basses.
- Pour les barrages en remblai, le matériau de construction est un produit naturel dont les propriétés peuvent varier d'un point à l'autre et également selon la saison. Les températures basses et les précipitations (pluie, neige) peuvent empêcher la mise en place de certains matériaux, essentiellement les matériaux cohésifs.

3.2.1.4. Sismicité

Les plaques constituant l'écorce terrestre sont en constant mouvement et se déplacent relativement les unes par rapport aux autres. Il s'en suit des efforts dans leurs zones de contact et des mouvements saccadés qui sont générateurs de séisme. La distribution mondiale des séismes confirme bien la relation qui existe avec les limites des plaques.

Les causes des tremblements de terre peuvent être d'origine tectonique (fractures internes de la croûte terrestre). Mais également volcanique ou dues à la présence d'une retenue. La plupart des grands tremblements de terre se produisent sur des failles préexistantes. Des mouvements lents et différents produisent des déformations entraînant une augmentation des contraintes aux abords de la faille. Au moment où la résistance au frottement est dépassée, il survient une rupture qui génère un tremblement de terre.

Les barrages sont dimensionnés pour reprendre des forces horizontales, car la poussée

hydrostatique à une composante horizontale importante. De ce fait, les barrages sont en mesure de résister aux forces sismiques horizontales dues aux mouvements du sol dans ce plan.

Les types de barrages les plus résistants aux sollicitations dynamiques sont :

- Les barrages-voûtes et les barrages-poids voûtes en raison de leur hyperstaticité ;
- Les barrages en enrochement à noyau central argileux par leur capacité à supporter de grandes déformations.

3.2.1.5. Les conditions climatiques

Les conditions climatiques influencent de manière prépondérante les conditions d'exécution de l'ouvrage, et par-là le délai d'exécution. Il peut en être de même en ce qui concerne la durabilité du barrage. Quelques cas particuliers sont décrits ci-dessous à titre d'exemples :

- Noyau argileux des barrages en remblai (conditions pendant la construction).
La teneur en eau est le critère essentiel de la mise en place et du compactage optimal du noyau. Dans les régions où la saison des pluies est longue et intense (pluies tropicales), la mise en place est souvent interrompue à cause du degré de saturation trop élevé des matériaux.
- Barrages à contrefort (conditions pendant l'exploitation).
La différence de température entre la tête dont le parement amont est en contact avec l'eau froide de la retenue et l'âme soumise au rayonnement solaire fait apparaître des gradients thermiques importants pouvant conduire à la fissuration du béton.

3.2.1.6. Maîtrise des crues

La problématique de la crue de dimensionnement est un point particulièrement sensible du projet de barrage, en raison du caractère incertain et probabiliste des valeurs retenues. L'étude hydrologique doit être menée par des spécialistes (ingénieurs, hydrologues, météorologues).

Il faut relever que la problématique de la crue à maîtriser et de l'intégration des ouvrages annexes constitue un critère particulier du choix du type de barrage. Les barrages en béton peuvent supporter sans dommages excessifs un éventuel dépassement des débits de dimensionnement et donc un déversement au-dessus du couronnement pour autant que la stabilité soit assurée pendant et après le débordement. Par contre, un déversement au-dessus du couronnement des barrages en remblai serait catastrophique et pourrait conduire à la ruine de l'ouvrage et des dégâts considérables à l'aval.

L'importance et la probabilité de dépassement des crues poses en compte pour la vérification doivent être choisies de façon à garantir la sécurité des barrages. Pour se prémunir contre une rupture et ses conséquences, il est nécessaire de pouvoir maîtriser des crues qui correspondent à des événements exceptionnels ou extrêmes.

Généralement les crues considérées pour l'analyse de la sécurité des ouvrages d'accumulation en cas de crues sont définies par les dénominations suivantes :

- **Crue de projet** ; correspond à un événement exceptionnel et doit être évacuée dans des conditions normales d'écoulement, sans provoquer aucun dommage (ni à l'ouvrage de retenue lui-même, ni aux organes de décharge) et avec une marge de sécurité fixée par une revanche ultime Dans le cas des ouvrages d'accumulation de grande ou moyenne hauteur de retenue, la crue de projet est de probabilité de dépassement 1 / 1000 (crue millénale)
- **Crue de sécurité** ; correspond à un événement extrême que l'ouvrage de retenue doit être capable de supporter et d'évacuer. Son passage dans la retenue conduit au niveau maximal admis pour le plan d'eau

3.2.2. Actions et sollicitations

Au cours de sa construction et pendant son exploitation, le barrage va être soumis à des charges (actions) qui vont entraîner des déformations et des contraintes. Ces charges entrant dans les calculs de vérification des barrages peuvent être réparties selon leur mode d'application dans les trois catégories suivantes :

- **Charges permanentes** sont toujours présentes. Il se peut toutefois qu'elles apparaissent au cours du temps et qu'elles subsistent sans subir de modifications.
- **Charges variables** varient en fonction des conditions d'exploitation, d'autres sont fonction de conditions naturelles.
- **Charges exceptionnelles** surviennent en général suite à des événements naturels parfois violents dont les effets peuvent être soudains ou de durée limitée.

Le tableau 3.2. dresse la liste de l'ensemble des charges des différentes catégories qui entrent en jeu.

Tableau 3.2. Charges prises en compte pour la vérification des barrages (SCHLEISS A.J. & POUGATASCH H., 2011).

Charges Permanentes	Charge Variables	Charge Exceptionnelles
<ul style="list-style-type: none"> • Poids propre (structure, vannes) • Poussée des terres (remblai) • Forces d'ancrages En présence permanente de l'eau : <ul style="list-style-type: none"> • Poussée de l'eau • Sous-pressions • Pressions interstitielles 	<ul style="list-style-type: none"> • Poussée de l'eau • Poussée des sédiments • Sous-pressions • Température du béton • Pressions d'écoulement des eaux de percolation • Pressions interstitielles • Neige • Poussée des glaces • Charges roulantes 	<ul style="list-style-type: none"> • Crue • Séisme • Avalanche • Lave torrentielle • (Chute d'aéronef)

3.2.3. Procédures administrative et exigences

Avant d'entreprendre les travaux de construction d'un barrage, le maître de l'ouvrage doit soumettre à la probation de l'autorité ministérielle compétente les plans d'exécution de l'ouvrage. Si le barrage répond aux exigences du ministère des ressources en eaux, ce dernier doit approuver le projet de barrage et de ses ouvrages annexes sous l'angle de la sécurité technique.

On peut distinguer schématiquement trois phases principales (figure 3.2.) dans l'élaboration d'un projet de barrage :

- Les études préliminaires (ou pré-diagnostic),
- Les études de faisabilité et la demande d'autorisation (ou avant-projet sommaire),
- Les études de finalisation du projet (ou avant-projet détaillé).

Chaque phase d'étude doit aborder les aspects techniques, les aspects environnementaux, les aspects économiques et financiers.

Faire l'impasse des études environnementales, au stade du pré-diagnostic, représente une erreur qui peut être lourde de conséquences. Chaque phase d'étude doit permettre de décider de la poursuite ou non du projet. Le maître d'ouvrage ne peut se lancer dans des études lourdes, nécessitant de forts investissements, pour un projet qui a toutes les chances d'être rejeté. La progressivité et la globalité dans la démarche sont donc primordiales.

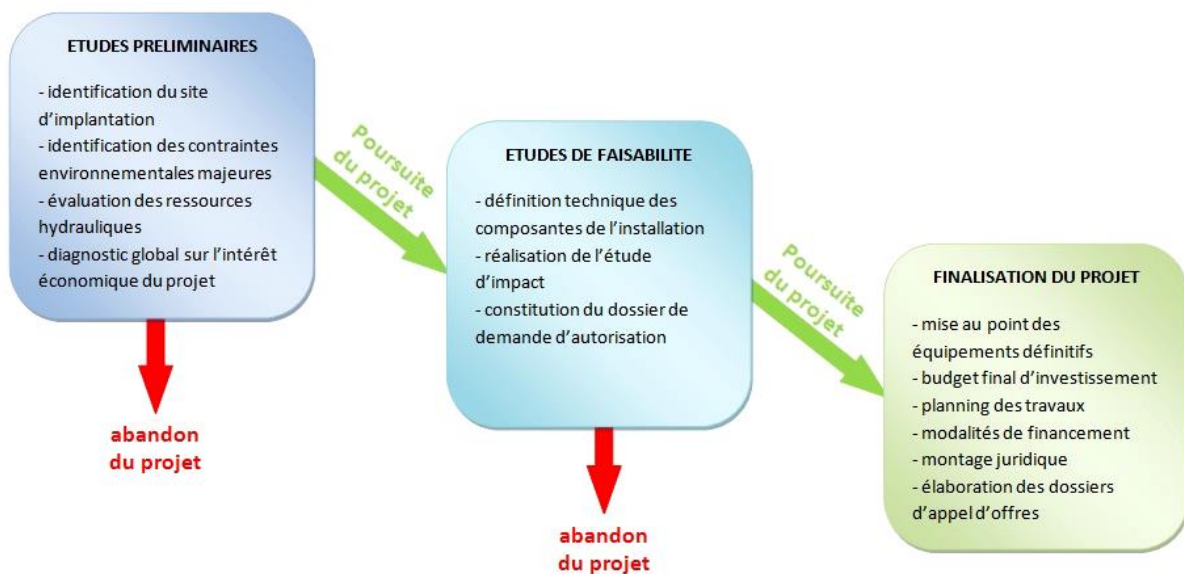


Figure 3.3. Phases principales dans l'élaboration d'un projet de barrage (A.D.E.M.E, 2003)

3.2.3.1. Documents de base relatifs au projet de barrage

Ce titre a pour objectif de présenter les différents éléments de base illustré dans la liste ci-dessous pour l'élaboration du projet de barrage qu'ils sont prise en considération par le porteur de projet; ces bases peuvent variés d'un pays à l'autre.

- Convention d'utilisation et base du projet (ou plan d'utilisation et plan de sécurité)
- Extrait de la carte nationale (1:50'000 ou 1:25'000) avec situation générale de l'aménagement, ainsi que des bassins versants directs et indirects
- Plans d'exécution de l'ouvrage d'accumulation (vue en plan, coupes longitudinales et transversales avec report exact du profil de fondation), des ouvrages de prise, de l'évacuateur de crues et des vidanges de fond
- Données géologiques des fondations du barrage et de la retenue
- Etudes hydrologiques relatives à la sécurité vis-à-vis des crues (y compris les caractéristiques hydrauliques des adductions)
- Les diagrammes du volume de la retenue et de la capacité d'évacuation des différents organes de décharge en fonction du niveau du plan d'eau de la retenue et du degré

d'ouverture des vannes (Ces informations, soigneusement conservées, seront également disponibles dans la chambre des vannes ou la cabane des gardiens.)

- Les diagrammes concernant la durée d'abaissement en vue de la vidange de la retenue ainsi que la montée du niveau du plan d'eau lors de crues en cas de retenue abaissée pour des raisons de sécurité
- Un condensé des résultats des calculs statiques et dynamiques ainsi que des analyses de stabilité
- Schéma de l'installation d'auscultation existante (pendules, points fixes, boulons de mesure, repères de tassements, thermomètres, clinomètres, manomètres, jauges de mesure des contraintes, cellules de mesure de la pression interstitielle, tubes piézométriques, stations de mesure des infiltrations, sources recensées, etc.)
- Etude d'impact sur l'environnement (EIE)
- L'élaboration du cahier des charges (prescription techniques, prescription spéciale)
- Données géologiques concernant les surfaces des fondations, les galeries, etc.
- Indications concernant la dérivation provisoire et l'évacuation des eaux pendant la construction
- Programme d'avancement des travaux
- Répartition des dosages en ciment du barrage en béton
- Résultats des essais d'injection (voile, injections de contact et de consolidation)
- Rapports finaux concernant les contrôles de résistance pour les barrages en béton et les essais géotechniques pour les barrages en remblai ainsi qu'une description de l'origine et de la qualité des matériaux
- Indications concernant les difficultés particulières qui peuvent surgir pendant la construction

3.3. PRESENTATION DU CAS

3.3.1. Historique du projet

A l'époque 1952, avant la construction du barrage oued Mina, les ingénieurs envisageaient d'équiper en priorité les oueds Taht et El Abd, en considérant que les sites sur Mina aval étaient difficiles.

Dans le cas de l'oued Taht, le choix du site a été rapidement fait : topographie du site excellent, conditions géologiques très propices, matériau de carrière proche et abondant.

A cette époque, le géologue Cheylan déclare que : « *L'ouvrage prévu sur le Taht était d'importance moyenne (digue de 40 m de haut permettant de créer une retenue de 50 millions de m³). [...] Les techniciens envisagent de doubler la hauteur du barrage, portant ainsi la capacité de la retenue à 180 millions de m³.* ».

Entre temps, le barrage oued Mina a été construit.

Le projet sur le Taht est donc devenu secondaire : sa destination serait aujourd'hui locale, à destination d'alimentation et d'irrigations des agglomérations voisines. Il s'agit dès lors de concevoir une retenue plus modeste.

Dans les années récentes, une certaine hésitation a prévalu quant à la capacité à donner à la retenue sur l'oued Taht, en relation avec son impact sur la retenue aval de barrage oued Mina.

Le projet Enhyd de 1993 (cote de RN 392, cote de crête 399,50, volume régularisé 8,5 Mm³) aurait ainsi été abandonné en raison d'un impact excessif sur barrage oued Mina.

Le projet d'Incomag de 2007 fait suite à plusieurs autres esquisses de barrages sur l'oued Taht. (Cote de RN 375, cote de crête 380,30, volume total 2 Mm³) a été actuellement révisé par le Bureau d'Ingénieurs Conseils (ISL) car les ressources qu'il mobilise sont jugées insuffisantes.

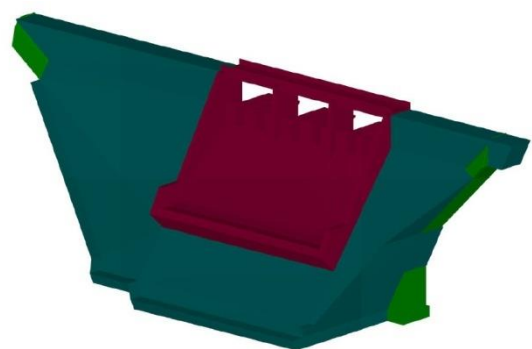
Les Clauses de Prescriptions Spéciales établies par l'ANBT en 2009 fixent les nouvelles règles de dimensionnement : retenue de 7 Mm³, dont 5 Mm³ de capacité utile.

En 2011 ISL a proposé deux types de barrages qui peuvent être envisagés (figure 3.4.) :

- le barrage voûte,
- le barrage poids en béton, BCV ou BCR.



(a) Barrage voûte



(b) Barrage en BCR

Figure 3.4. Vue 3D des deux variantes (vidange non représentée); (ISL, 2011)

Le tableau 3.3. ci-dessous synthétise les avantages et inconvénients des deux variantes.

Tableau 3.3. Les avantages et inconvénients des deux variantes (ISL, 2011)

	Barrage voûte	Barrage poids
Montant des travaux (y compris aléas géologiques, fouilles moyennes 5 m + sur profondeurs et aléas topographiques)	1400 MDA (hors route d'accès)	1900 MDA (hors route d'accès)
Sensibilité aux aléas géologiques	-Assez forte - Problématique liée à la déformabilité plus grande des grès.	-Assez forte -Problématique liée à la présence de plans de faiblesses. -La sensibilité est peut être un peu plus forte que pour la voûte, qui s'adapte mieux à l'aléa suspecté.
Sensibilité aux crues	Plutôt faible	Assez forte
Sensibilité aux séismes	Plutôt faible	Plutôt faible
Technicité	-Forte -Peut réduire la concurrence à l'appel d'offres	Assez forte
Planning	Les travaux du barrage sont rapidement enclenchés (moins de fouilles et surtout moins d'ouvrages de dérivation)	Les travaux du barrage nécessitent la construction d'un ouvrage de dérivation.
Risque dérapage planning	Assez fort (aléa géologique)	Assez fort (aléa géologique)

La variante « barrage-voûte » présente plusieurs avantages :

- elle est moins chère,
- elle peut être lancée un peu plus tard en saison (juillet au lieu de mai) car les travaux de dérivation provisoire sont moins lourds,
- elle s'adapte un peu mieux au contexte géologique du site et à ses aléas supposés,
- elle est moins sensible à l'hydrologie et aux incertitudes sur la crue de projet.

L'ISL a recommandée de retenir la variante « barrage-voûte ».

Dans la même année le groupement eurostudios (bureau d'étude Espagnole) et CTH (contrôle technique hydraulique, Algérien) ont été retenus suite un appel d'offre international pour les missions d'étude et suivi des travaux.

3.3.2. FICHE SYNOPTIQUE

3.3.2.1. Localisation

Le site du barrage Oued Taht se situe à proximité du village d'Ain Farah, au sud du chef lieu de la wilaya et juste à l'amont de la confluence avec l'Oued Mina (figure 3.5.).



Figure 3.5. Localisation du site du barrage Oued Taht (Google Maps, 2014)

3.3.2.2. Destination de l'aménagement

Le futur barrage de l'oued TAHT servira à l'alimentation en eau potable des communes de Ain Farah et Oued El Abtal, ainsi que l'irrigation du périmètre de Kechout.

La capacité du réservoir du barrage Taht est de 7 Hm^3 , dont 5 Hm^3 de capacité utile et 2 Hm^3 de volume mort.

3.3.2.3. Caractéristiques hydrologiques

Nom du bassin versant principal	: bassin versant d'Oued Taht (figure 3.6.)
Superficie du bassin versant	: 767 km^2
Précipitation moyenne annuelle	: 353 mm
Apport moyen annuel	: 16 hm^3



Figure 3.6. Versant du barrage Oued Taht (Google Maps, 2014)

3.3.2.4. Composition et description de l’aménagement

3.3.2.4.1. Retenue (figure 3.7.)

Niveau retenue normale	: 384 m NGA
Niveau des plus hautes eaux	: 389,60 m NGA
Niveau minimum d’exploitation	: 375 m NGA
Volume de la tranche morte	: 2 hm ³
Volume utile	: 5 hm ³
Volume total	: 7 hm ³

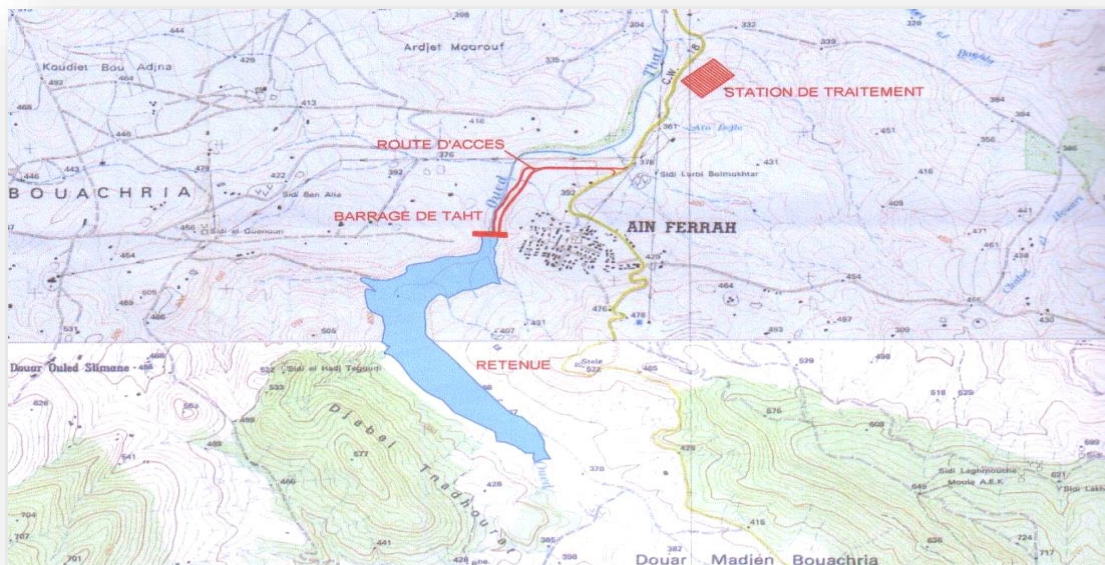


Figure 3.7. La retenue du barrage Oued Taht (ISL, 2011)

3.3.2.4.2. Barrage

Barrage type voûte en béton conventionnel vibré (figure 3.8.)

Hauteur maximale (au dessus du terrain naturel) : 36 m

Hauteur maximale (au dessus des fondations) : 44 m

Longueur de la crête : 155 m

Largeur de la crête : 7 m

Côte de la crête : 391,1 m NGA

Fruit du parement amont et aval : 0.0 H/1V ; parement vertical

Géométrie de la voûte : voûte à parements verticaux parallèles, de géométrie quasi-cylindrique

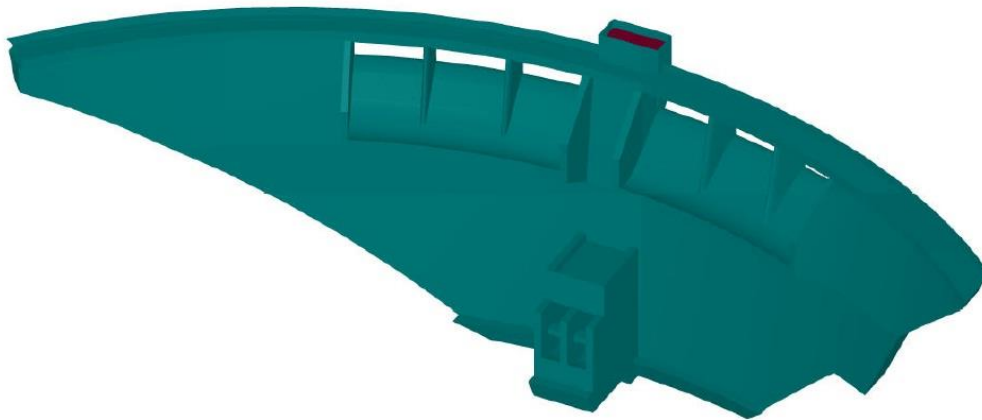


Figure 3.8. Vue 3D du barrage type voûte (vidange représentée); (ISL, 2011)

La voûte a une géométrie choisie pour sa simplicité d'exécution : parements amont et aval verticaux. Ce choix est justifié par la hauteur modeste du barrage ; des formes plus complexes permettraient d'économiser du béton.

Cette géométrie ne complique pas l'exécution du barrage : la construction est faite de toute façon avec des morceaux de coffrage plans. Elle offre une plus grande souplesse pour faire face aux éventuels aléas géologique aux appuis, et diminue les contraintes dans le béton en vallée.

Dans la forme retenue le rayon de la voûte n'est pas constant, mais est minimum en vallée et maximum en rives.



(a) Vue en amont



(b) Vue en aval

Figure 3.9. Projection du futur corps du barrage d'oued Taht**3.3.2.4.3. Vidange de fond :**

Vanne de contrôle du débit : 2 vannes de 2,8 x 2 m

Vanne de garde : 2 vannes de 3 x 2 m

Débit maximal : 2 * 100 m³/s

3.3.2.4.4. Evacuateur de crues

Crue de dimensionnement : crue T = 1 000 ans

Débit de pointe de la crue : 1 600 m³/s

Type d'évacuateur : seuil libre

3.3.2.4.5. Tour de prise:

Type : Verticale

Nombre d'ouvertures : 2

Cote de prise : 375 et 382 m NGA

3.3.2.4.6. Dérivation provisoire

- La dérivation provisoire est assurée en ménageant un phasage de construction des plots du barrage.
- Un des plots de rive gauche est laissé en attente (plot 3, voire annexe A).
- Un petit batardeau amont (hauteur 3m) permet de se protéger contre les crues courantes, jusqu'à 50- 80 m³/s environ.

3.3.2.4.7. Appareil d'auscultation

Piézomètres et cellules de pression interstitielle

Sondes de température

Extensomètres

Bornes topographiques et cocardes

Pendules

Mesure de débit de fuite

3.3.2.5. Autorisation du programme

Intitulé de l'opération : construction du barrage TAHT dans la wilaya de mascara

Numéro de l'opération : ND 5 321 8 263 844 11

Date d'inscription : 09/10/2002.

3.3.2.6. Données contractuelles

3.3.2.6.1. Travaux

Entreprise : groupement (voire annexe A) d'entreprise SEROR/HYDRO- TECHNIQUE

Délai de réalisation : 24 mois

Montant du marché : 2.534.579.850,35DA/TTC

ODS : 07/12/2011

3.3.2.6.2. Etude d'exécution, assistance technique et surveillance des travaux

Date de remise des offres : 11/10/2011

Le Bureau d'Etude choisi groupement Algéro-Espagnol (CTH & eurostudios)

3.3.2.7. Volumes des travaux

La consistance des travaux du barrage est comme suit :

Excavations : 25 000 m³

Bétons : 36 000 m³

Forages et injection : 27 000 ml

La figure 3.10. ci-dessous représente les deux rives du barrage oued Taht avant et après les travaux d'excavation

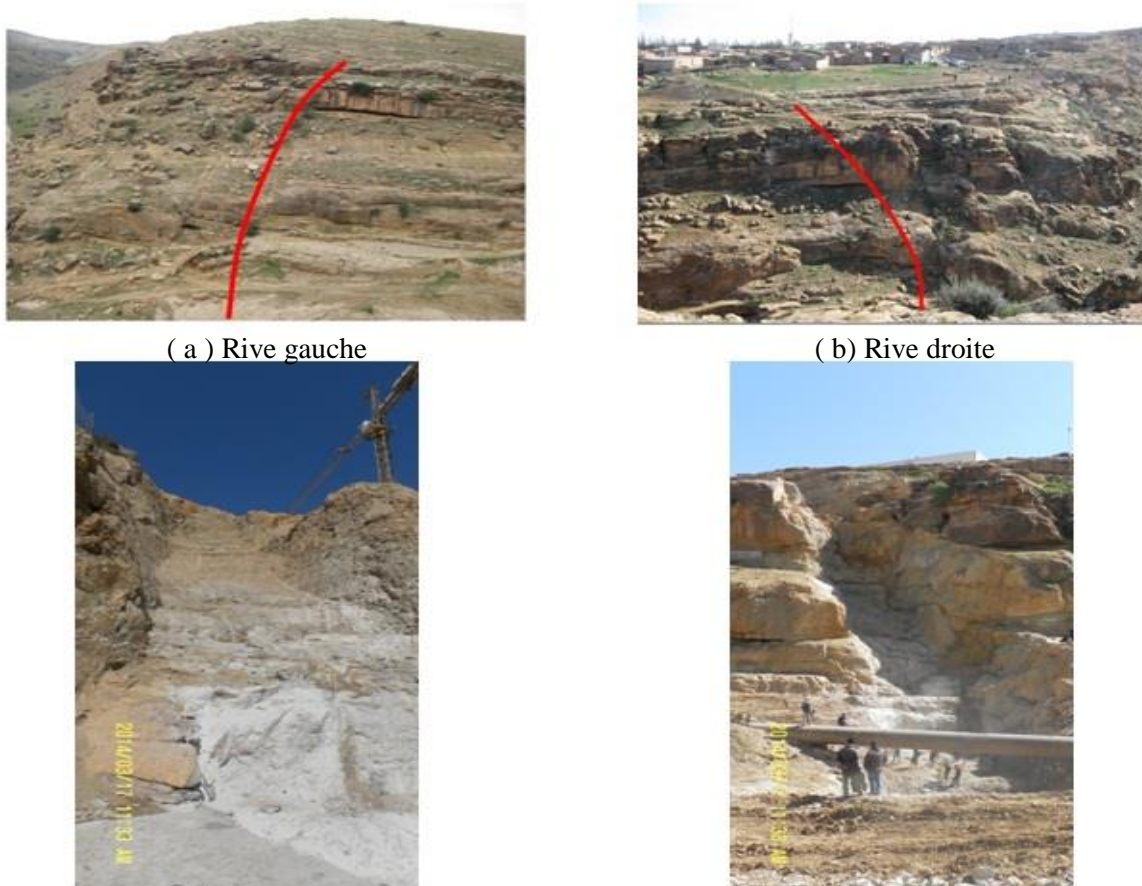


Figure 3.10. Les deux rives du barrage oued Taht avant et après les travaux d'excavation.

3.3.2.8. Expropriation.

- Pour la cote PHE 377,87 m NGA (APD Incomag, capacité du barrage 2Hm³)
- Enquête parcellaire achevée à 100 %
- Arrêtés de cessibilité achevée à 100%
- Consignation de fond en cours
- Pour la cote PHE 389,60 m NGA (APD complémentaire ISL, capacité du barrage 7Hm³)
- Enquête parcellaire en cours.

3.4. APPROCHE SYSTEMIQUE DANS UN PROJET DE BARRAGE

Les systèmes sont souvent conçus, construits et fonctionnent sous des conditions inévitables de risques et d'incertitudes et dont souvent supposés accomplir des objectifs multiples et conflictuels.

Dans l'application aux barrages, il est nécessaire de définir précisément le système du génie civil qui va être étudié. Le système que nous présentons (figure 3.11.) est composé du barrage proprement dit (structure du génie civil hors du sol), de sa fondation et de ses ouvrages annexes (évacuateur de crue, prise d'eau...etc.).

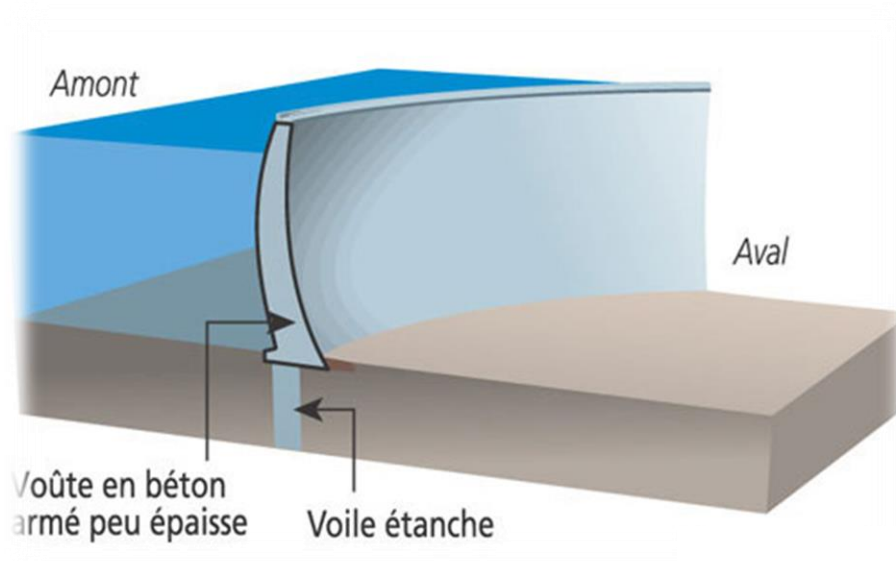


Figure 3.11. Définition et limite du système

3.4.1. ANALYSE SYSTEMIQUES

Les barrages de par leurs conceptions diverses et complexes nécessitent l'intégration de l'analyse systémique appliquée à chaque type de structure. Ces ouvrages sont complexes non seulement par leurs structure de génie civil mais aussi par leurs divers équipements.

L'analyse systémique considère un système dans sa globalité, afin de ne pas négliger les interactions entre ses différents éléments. Il intègre la durée dans son analyse ; il considère comme essentielles les liaisons d'un système avec son environnement et prend en compte les buts poursuivis, et ne retient que les éléments essentiels.

La figure 3.12. représente une analyse systémique de notre cas d'étude.

3.4.2. ANALYSE FONCTIONNELLE

L'analyse fonctionnelle s'appuie sur les fonctions d'un système pour comprendre son fonctionnement, puis ses dysfonctionnements. Cette analyse est l'étape préliminaire fondamentale avant l'application d'une méthode de la Sûreté de Fonctionnement. Elle constitue donc une étape fondamentale dans une étude de dangers, avant l'application de toutes méthodes d'analyse de risques.

L'analyse fonctionnelle permet la compréhension et la description synthétique du fonctionnement du système étudié et elle établit de façon formelle et exhaustive les relations fonctionnelles à l'intérieur et à l'extérieur du système. L'analyse fonctionnelle comprend trois phases (PEYRAS L., 2002) :

- la définition du système ;
- l'analyse fonctionnelle externe ; faire ressortir Les besoin satisfait par le système correspond à ce qu'on attend de lui. cette analyse traduit les besoins sous forme de fonctions.
- L'analyse fonctionnelle interne démontre le rôle et la participation des différents composants d'un système dont chacun d'entre eux assurant les fonctions contribuant au fonctionnement global de l'ouvrage.

La figure qui suit (figure 3.13) représente une analyse fonctionnelle de notre cas d'étude

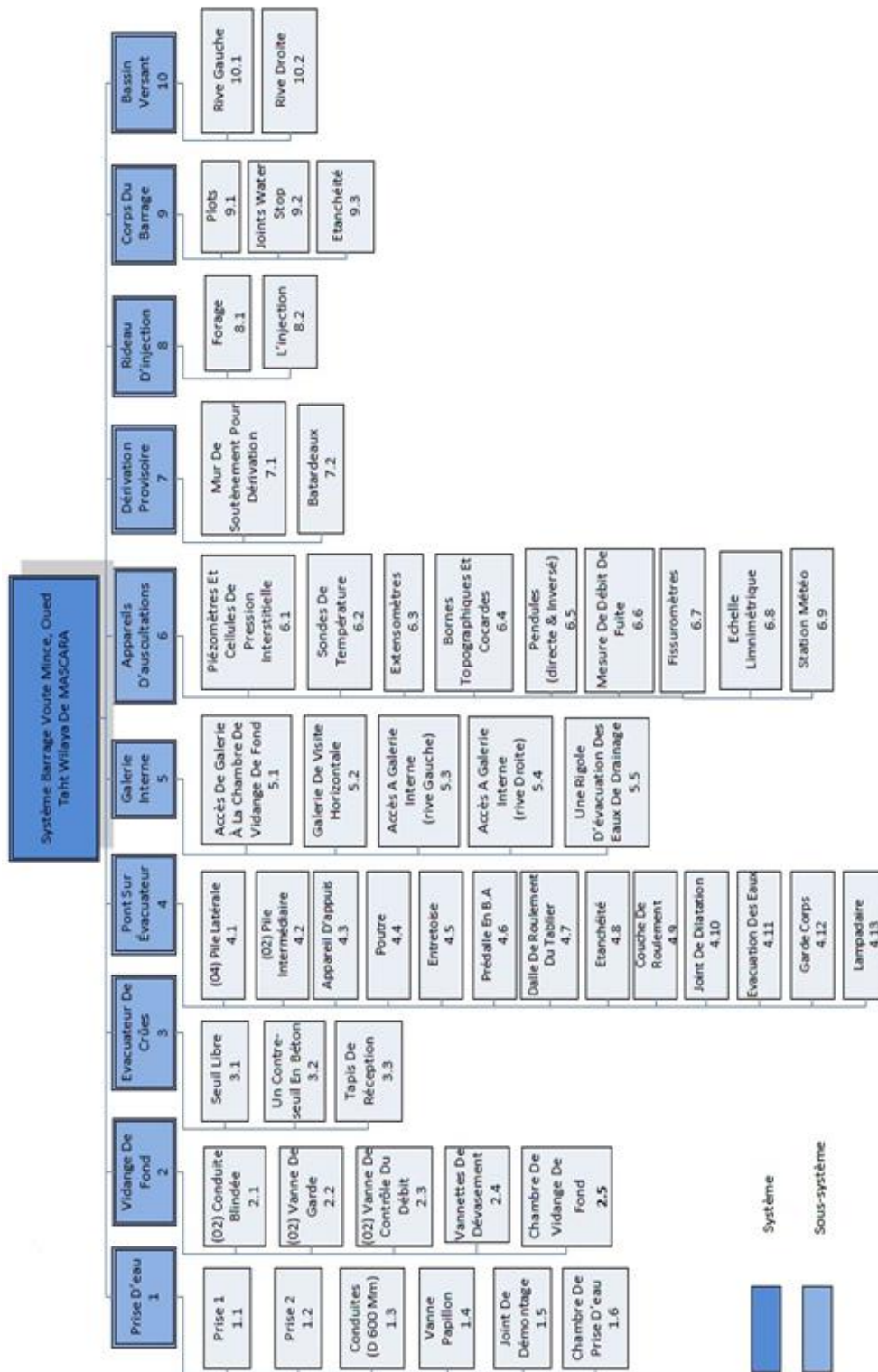


Figure 3.12. Analyse systématique du barrage voûte mince, Oued Taht wilaya de MASCARA

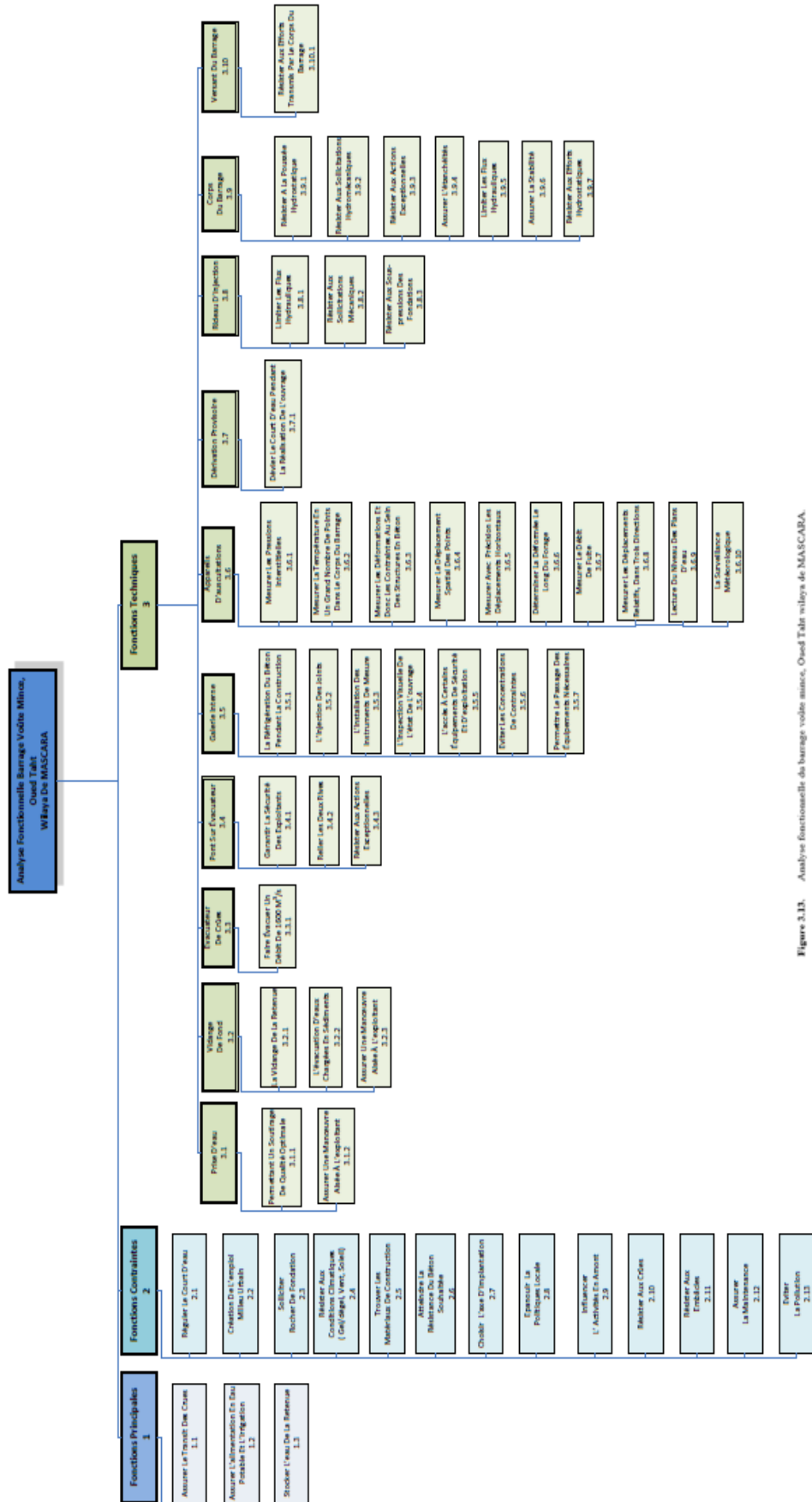


Figure 3.13. Analyse fonctionnelle du barrage voûte mince, Oued Taht wilaya de MASCARA.

3.5. CONCLUSION

Le projet de barrage est l'un des projets les plus complexe et pluridisciplinaire dans son étude comme son exécution, pour cela nous avons opté dans ce chapitre d'étaler d'une manière synthétique les différentes bases pour l'élaboration et la réalisation d'un projet de barrage. Afin d'assurer le succès de projet de barrage, les différentes parties prenantes doivent tenir compte de toutes les sources de risques dans le cadre d'une procédure de management des risques.

A fi de mieux pouvoir appliquer la méthode MADS-MOSAR dans le chapitre suivant, nous avons dû faire appel à une analyse systémique, et à une autre fonctionnelle ; pour nous aider à mieux identifier les risques susceptible d'affecter notre projet déjà présenté dans ce chapitre par une fiche synoptique.

CHAPITRE 4

Application De La Méthode MADS-MOSAR Sur Le Projet De Barrage Voûte Mince D'oued Taht Wilaya De Mascara



Figure 4.1. L'installation de l'explosif sur le chantier de barrage voûte mince d'oued Taht Wilaya de MASCRA.

« L'imagination est plus importante que le savoir. »

Albert Einstein

4.1. INTRODUCTION

Dans le domaine de génie civil, les barrages ont toujours été considérés comme des ouvrages d'art spécifiques. Les raisons se trouvent dans le caractère unique dans chaque barrage la complexité des comportements et des mécanismes en jeu et dans les effets majeurs des actions de l'eau.

À ce titre la gestion des risques est devenue une activité complémentaire et incontournable des activités des différentes parties prenantes. De ce fait, le management des risques est une des composantes fondamentales de la réussite d'un projet. Gérer un risque est un processus itératif fondé sur l'analyse des risques. De ce fait, une quantité d'outils et de méthodes d'analyse des risques ont été mis en place afin de permettre, à travers l'étude des systèmes, d'identifier les principaux scénarios probables. Les résultats de ces études permettent de hiérarchiser les risques et facilitent la mise en place des moyens de protection et/ou de prévention nécessaires à la maîtrise des risques.

Après avoir présenté notre cas d'étude, Dans ce chapitre nous allons présenter la méthode MADS-MOSAR. Elle a été mise au point par Pierre PERILHON au CEA. Comme elle a évolué au cours du temps.

L'objectif de ce chapitre, serait d'appliquer la méthode MADS-MOSAR dans le projet de barrage voûte mince oued Taht wilaya de Mascara. Pour cela, nous commencerons par une décomposition du projet de barrage en sous-système source de danger, pour pouvoir entamer les étapes de la méthode.

4.2. LA METHODE MADS-MOSAR

4.2.1. Méthodologie MOSAR

Cette méthodologie est considérée comme organisée car c'est une démarche systématique, son objectif principal est l'analyse de risques car elle permet d'identifier, d'évaluer, de contrôler, de gérer et de manager le risque d'une opération donnée.

MOSAR peut être considérée comme une méthodologie qui peut intégrer des méthodes d'analyse détaillées comme l'AMDEC et l'HAZOP. Cette méthode introduit aussi le modèle MADS pour faire apparaître la structuration des dangers et par conséquent de les identifier de manière rationnelle.

La méthode s'articule autour de deux visions (figure 4.2.), d'où les deux modules qui la composent :

- Une vision macroscopique qui consiste à faire une analyse des risques de proximité ou analyse principale de sécurité ou analyse des risques principaux.
- Une vision microscopique qui consiste à faire une analyse détaillée et complémentaire des dysfonctionnements techniques et opératoires identifiés dans la vision précédente.

Le module A

La vision macroscopique (module A) correspond approximativement à une analyse principale des risques, son but est l'analyse du fonctionnement non détaillé de l'installation et permet de mettre en évidence les risques principaux en relation avec les barrières de sécurité nécessaires à son bon fonctionnement.

Le module A est constitué par cinq activités qui permettent de réaliser une Analyse Principale de Risque (APR). Ces cinq activités se présentent originalement de manière successive, mais l'analyste peut générer des séquences différentes. La séquence définie par l'observateur sera entre autres choses en relation avec le type d'installation étudiée, le contexte et/ou les obligations normatives. A partir de cette conception de boîte à outils nous pouvons présenter les cinq niveaux d'analyse :

Niveau 1 : Identifier les sources de dangers ;

Niveau 2 : Identifier les scénarios de dangers ;

Niveau 3 : Evaluer les scénarios de risques ;

Niveau 4 : Négocier des objectifs et hiérarchiser les scénarios ;

Niveau 5 : Définir les moyens de prévention et les qualifier.

Le module B

La vision microscopique (module B) est appelée Analyse des Risques de Fonctionnement. C'est une prolongation du module A, où l'on approfondit les mécanismes de dysfonctionnement et où l'on positionne les mesures d'élimination, de contrôle et de mitigation qui doivent être pris en compte. Le module B comprend cinq niveaux d'analyse qui sont :

Niveau 1 : Identifier les risques de fonctionnement ;

Niveau 2 : Evaluer les risques en construisant des ADD et en les quantifiant ;

Niveau 3 : Négocier des objectifs précis de prévention ;

Niveau 4 : Affiner les moyens de prévention ;

Niveau 5 : Gérer les risques.

La figure qui suit (figure 4.2) représente les deux modules et les dix niveaux de MOSAR : le parcours complet du MOSAR (MORTUREUX Y., 2005)

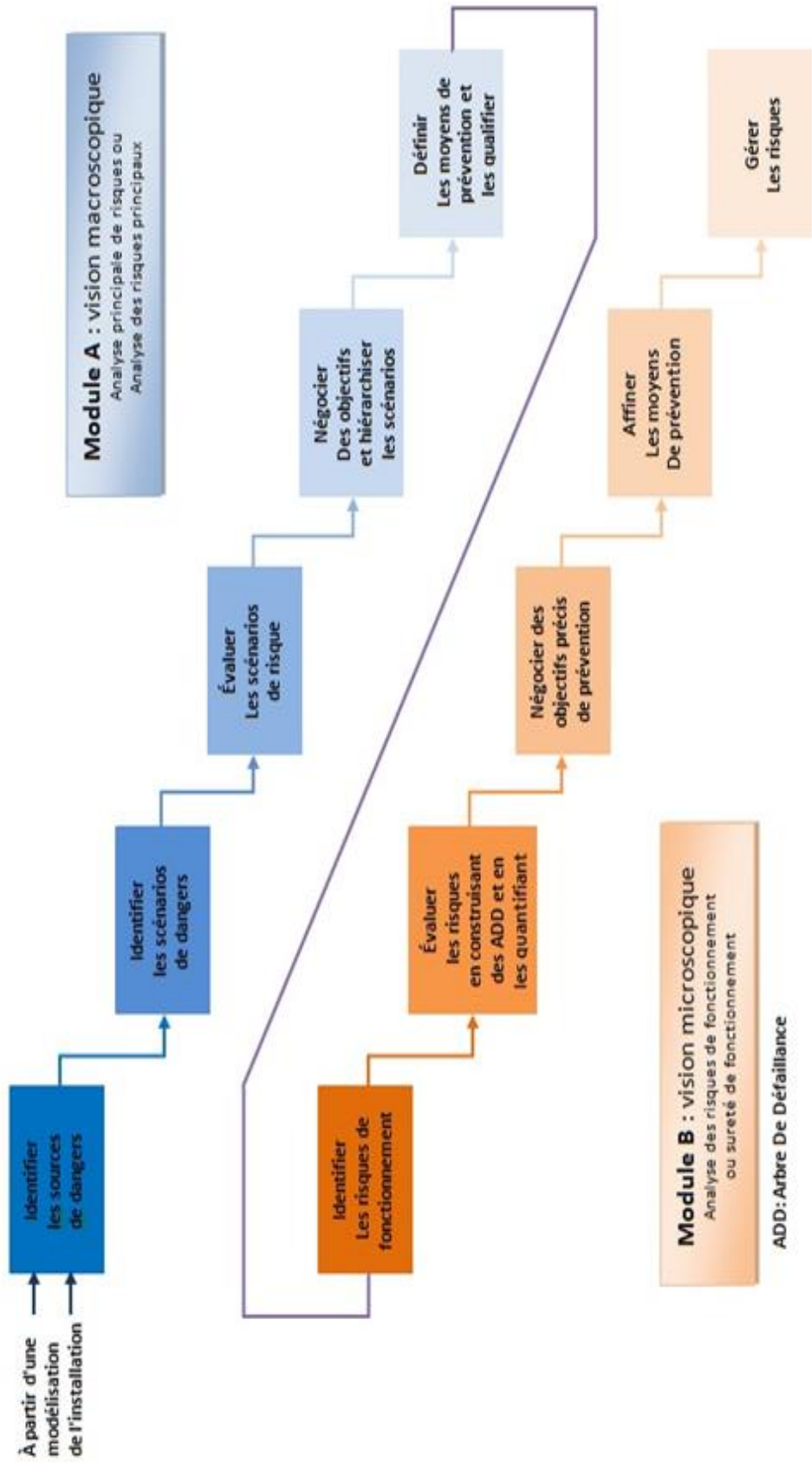


Figure 4.2. Les deux modules et les dix niveaux de MOSAR : le parcours complet du MOSAR (YEVS MORTUREUX, 2005).

4.2.2. Modèles mis en œuvre : MADS

Dans MOSAR, MADS permet de faire apparaître la structuration des dangers et par conséquent de les identifier de manière rationnelle.

Le modèle MADS (Méthodologie de dysfonctionnement des systèmes, figure 4.3.), appelé aussi (univers du danger) est un outil initialement à vocation pédagogique qui permet de construire et de comprendre la problématique de l'analyse des risques. Il est construit sur les bases des principes de la modélisation systémique développés par Jean- Louis Le Moigne dans « La Théorie du Système général » (1994). (La théorie de la modélisation)

L'univers du danger est formé de deux systèmes appelés système source de danger et système cible, en interaction et immergés dans un environnement dit actif. Les interactions entre ces deux systèmes se font sous forme de processus c'est-à-dire d'échange de flux de matière, énergie, information entre les deux systèmes, dans le temps, l'espace et la forme. Les autres actions qui se produisent dans cet univers sont explicitées aussi sous forme de processus. La modélisation des deux systèmes se fait, suivant les problèmes posés, sur leur structure, leur fonctionnement, leur relation avec l'environnement et leur évolution.

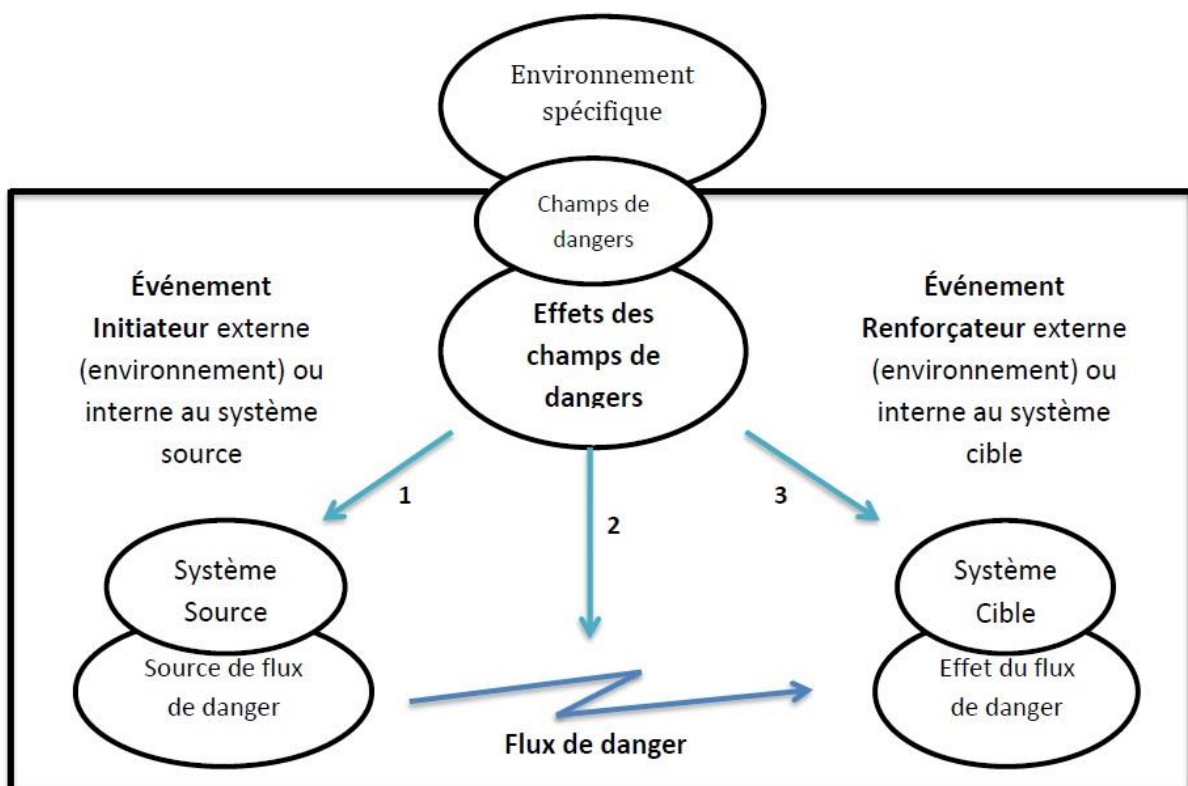


Figure 4.3. Le modèle MADS ou l'univers du danger (PERILHON P., 2003).

On fait donc apparaître :

- Le flux de danger que l'on appelle aussi l'Événement Non Souhaité (ENS) ou aussi parfois l'Événement Redouté;
- le système cible sur lequel agit le flux de danger. Sa rupture d'équilibre peut concerner sa structure et/ou son activité et/ou son évolution et est appelée effet du danger;
- le système source de danger émetteur du flux de danger. Sa rupture d'équilibre peut concerner sa structure et/ou son activité et/ou son évolution et/ou son interaction avec l'environnement et est appelée source de flux de danger;

Remarque

Le processus de danger est réversible c'est-à-dire qu'un système source peut devenir système cible et vice-versa. Les systèmes sources et les systèmes cibles pris en compte sont :

- Un ou des individus ;
- Une ou des populations ;
- Un ou des écosystèmes ;
- Un ou des systèmes matériels ou symboliques (savoirs, savoir-faire, données, etc.).

Les éléments orientés, source-flux-cible, sont immergés dans un environnement actif appelé champ de danger ; le champ de danger est tapissé de processus qui peuvent agir sur le système source par des événements initiateurs (notés 1 sur la figure 4.3.), ainsi que sur le système cible et le flux de danger par des événements amplificateurs (notés 2 sur la figure 4.3.). Un tel événement est dit renforçateur, ou aussi amplificateur positif, s'il renforce l'effet du flux de danger sur la cible. Il est dit atténuateur, ou amplificateur négatif, s'il diminue l'effet du flux de danger sur la cible.

4.2.3. Mise en œuvre de MADS-MOSAR

En appliquant MADS-MOSAR, pour réaliser une analyse de risques, il est nécessaire de procéder étape par étape (la figure 4.4.).

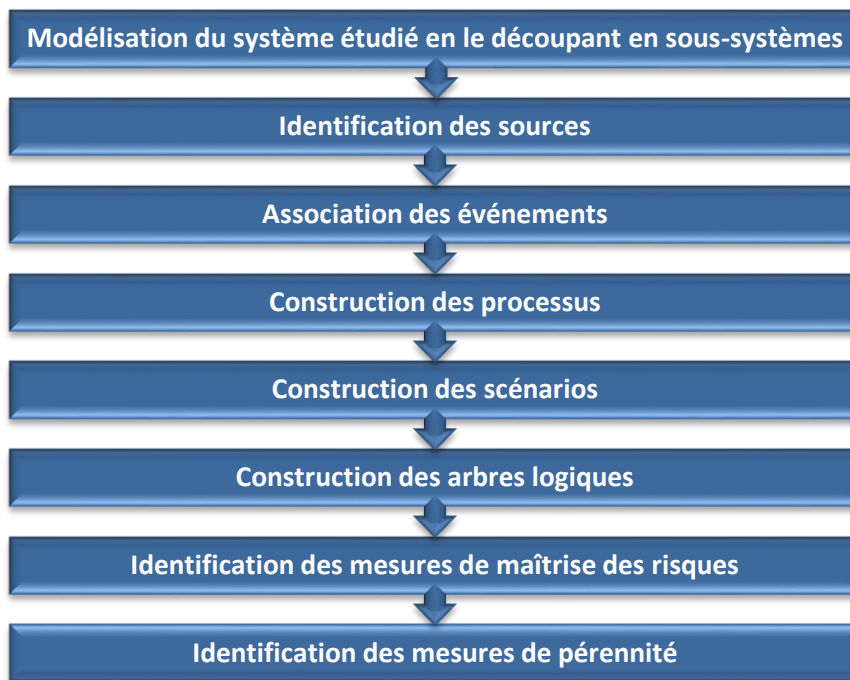


Figure 4.4. Les huit étapes de la mise en œuvre de MADS-MOSAR (GRANDAMS O., 2010).

4.2.3.1. Modélisation

La modélisation du système étudié permet d'atteindre deux objectifs cruciaux en analyse de risques : l'exhaustivité et l'optimisation. Le fait de ne pas oublier de sous-systèmes est primordial ; c'est le garant de l'exhaustivité.

Dans la suite de l'analyse, il va falloir identifier les sources. Cette identification se fera sous-système par sous-système, de manière systématique, indépendamment les uns des autres, oublier un sous-système, c'est oublier des sources ou des cibles, c'est donc oublier des scénarios et donc occulter la mise en œuvre des mesures de maîtrise des risques nécessaires.

Quant à l'optimisation, elle est liée au simple fait que des sous-systèmes physiquement éloignés ne pourront pas être à l'origine de flux susceptibles de les impacter. On va donc pouvoir éliminer la recherche de processus source-flux-cible par simple positionnement des sous-systèmes les uns par rapport aux autres.

La méthode MADS-MOSAR n'impose pas de règle de modélisation. La personne qui réalise l'analyse de risques avec MADS-MOSAR est libre de modéliser comme bon lui semble.

4.2.3.2. Identification des sources

La première étape dans la construction des processus source-flux-cible est bien évidemment l'identification des sources à l'origine potentielle des flux susceptibles d'impacter une cible, la source est le potentiel de danger susceptible de générer un flux pouvant impacter une cible. La méthodologie MADS-MOSAR consiste à identifier toutes les sources, sous-système par sous-système. Cette identification peut être réalisée de différentes manières : en groupe de travail, à travers des documents (fiches de données de sécurité), par retour d'expérience, etc.

4.2.3.3. Association des événements

Une fois les sources identifiées, il faut leur associer des événements, conformément au modèle MADS. On distingue (figure 4.5.) :

- *L'événement initial (EI)* : c'est l'événement redouté lié à la source
- *Les événements initiateurs internes (EII)* : ce sont les événements internes propres à la source et qui peuvent initier à eux seuls l'occurrence EI.
- *Les événements initiateurs externes (EIE)* : ce sont les événements extérieurs à la source de danger et qui peuvent initier à eux seuls l'occurrence EI.
- *Les événements principaux (EP)* : ce sont les flux générés par l'occurrence de l'EI et qui peuvent produire des effets sur des cibles.

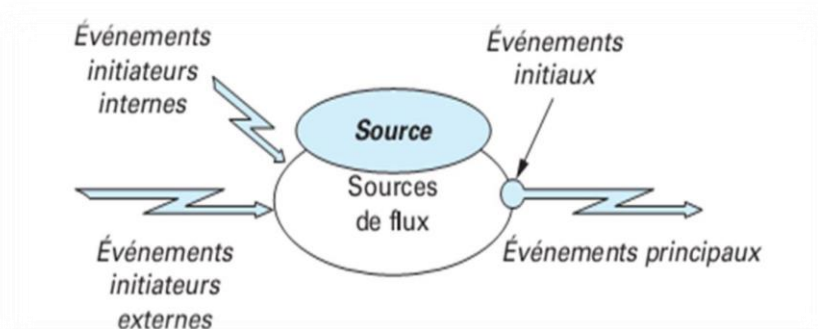


Figure 4.5. Événements associés à la source (PERILHON P., 2003).

4.2.3.4. Construction des processus

Construire un processus, c'est associer une source à une cible via un flux, dans l'application de MADS-MOSAR, cette association doit être automatique, réalisée par simple lecture des processus. En effet, il est bien précisé que les (EIE) sont des flux, tout comme les (EP). Le vocabulaire utilisé pour les EIE et les EP est donc identique. De ce fait, l'association source-flux-cible se fait par simple concordance de vocabulaire entre les EIE et les EP.

4.2.3.5. Construction des scénarios

Un scénario est un enchaînement de processus. Construire des scénarios à partir de l'application de MADS-MOSAR, c'est mettre bout à bout des processus avec le simple principe qu'une cible devient source et ainsi de suite.

L'étude des scénarios et des effets domino, tels que réglementairement demandés, se fait par simple lecture.

4.2.3.6. Construction des arbres logiques

Toujours à partir du principe qu'un scénario est un enchaînement de processus, il est alors possible, en appliquant MADS-MOSAR, de construire des arbres logiques.

Un arbre logique est, par exemple, l'ensemble des scénarios qui aboutissent à une même cible (arbre des causes) et l'ensemble des scénarios qui sont générés à partir de cette cible qui devient alors source (arbres des conséquences).

Il s'agit toujours d'une simple lecture des processus validés. De ce fait, MADS-MOSAR est la seule méthodologie d'analyse de risques qui permet de lier toutes les données de l'analyse pour produire automatiquement ce type d'arbre (PERILHON P., 2003).

4.2.3.7. Identification des mesures de maîtrise des risques

À ce stade de la mise en œuvre de MADS-MOSAR, on a une vision la plus exhaustive possible des scénarios redoutés. Cette étape de l'analyse a pour objectif de les maîtriser.

Pour ce faire, on va associer des mesures de maîtrise des risques ou « barrières » à chaque source. Sur une source de danger à l'origine d'un flux de danger, les barrières peuvent être associées:

- A la source de danger elle-même ;
- Aux EII ;
- Aux EIE ;
- Aux EP.

4.2.3.8. Identification des mesures de pérennité

L'application de MADS-MOSAR peut s'arrêter à l'étape précédente. Les mesures de maîtrise des risques nécessaires à la maîtrise des risques identifiés ont été répertoriées, de manière la plus logique, la plus cohérente et la plus exhaustive possible. Il est alors possible d'analyser la

pérennité de cette maîtrise des risques. Il suffit pour cela d'associer des mesures de pérennité (ou barrières de pérennité) aux mesures de maîtrise des risques. L'objectif est alors de pérenniser ces mesures de maîtrise des risques en leur associant des mesures qui doivent en garantir l'opérationnalité dans le temps.

Par cette étape, on crée un lien logique et cohérent entre l'analyse des risques et la gestion de la sécurité sur le système étudié. On associe également une typologie aux barrières de pérennité.

4.2.4. Avantages et limites de la méthode

Avantages :

- Méthode exhaustif
- Capitalisation ;
- Coordination avec les autres
- Souplesse.

Limites :

- Complexe pour les grands systèmes
- Lourd dans son utilisation
- Nécessite du temps

4.3. APPLICATION DE LA METHODE MADS-MOSAR Sur Le Barrage Voute Mince D'oued Taht

4.3.1. Décomposition du système en sous système

Pour une meilleure mise en œuvre de la méthode MADS-MOSAR, il va falloir décomposer le système a étudié en sous-systèmes comme suite :

SS1: le corps du barrage et injections

SS2: les équipements

SS3: les engins

SS4: la ressource humaine

SS5: l'environnement

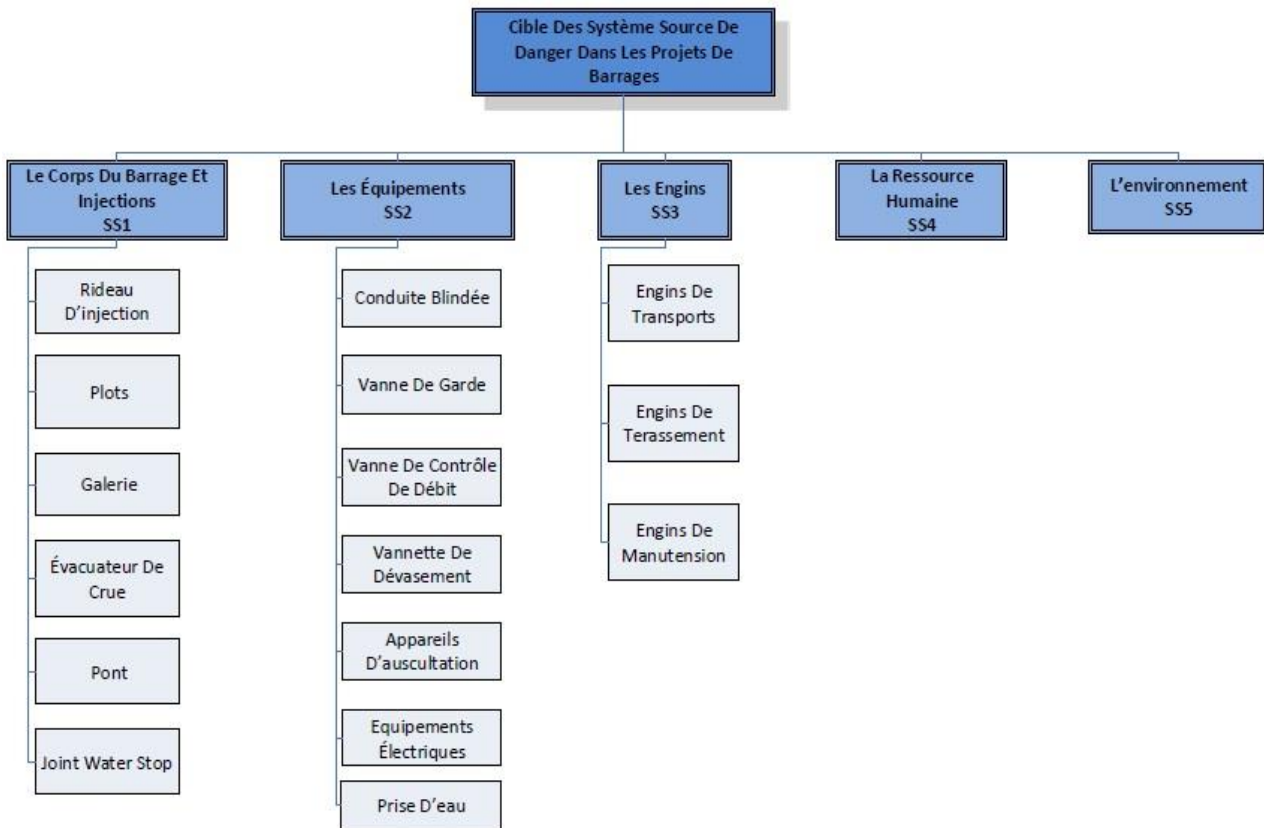


Figure 4.6. Cible des Système source de danger dans les projets de barrages

4.3.2 Identification des sources de danger

Ce travail d'identification des sources de danger de chaque sous système ou d'identification en quoi chaque sous-système peut être une source de danger. En faisant cette identification pour tous les sous-systèmes, on obtient une liste de dangers de projet. Cette liste n'est pas exhaustive. En effet, il est toujours possible de retrouver d'autre source de danger.

Après une adaptation de la grille 1 (PERILHON P., 2004).sur notre cas d'étude, nous avons obtenu cette liste représentée ci-dessous (tableau 4.1.).

N.B. Notre travail d'analyse de risques se focalise sur le cycle de vie du projet.

Tableau 4.1. Systèmes sources de danger dans les projets de barrages

A. Systèmes sources de dangers liés à l'environnement actif	
A.1. Systèmes sources de dangers d'origine naturelle	<p>Géologique :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Séisme • Glissement de terrain <p>Climatique :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tempête • Coups de vent • Sécheresse • Inondations • Feux de forêt • Foudre • soleil
A.2. Systèmes sources de dangers liés à l'environnement actif artificiel	<p>Villages voisins</p> <p>Installations industrielles</p> <p>Ponts</p> <p>Tunnels</p> <p>barrages</p>
B. Systèmes sources de dangers sociale et économique	
<p>Conflits</p> <p>Finances</p> <p>Grèves</p> <p>Sabotage, terrorisme et guerre</p>	
C. Systèmes sources de dangers d'origine humaine	
<p>Les opérateurs</p> <p>Les personnels d'encadrement</p>	
D. Systèmes sources de dangers biologiques	
<p>Virus /bactéries</p> <p>Toxines</p>	
E. Systèmes sources de dangers d'origine mécanique	
E.1. Systèmes sources de danger lié au dysfonctionnement des engins	
E.2. Systèmes sources de chute de hauteur (Eléments en hauteur, Accès en hauteur et Les travaux en hauteur	
E.3. Systèmes sources de chute de plain-pied	
E.4. Autre systèmes sources de blessures	
E.5. Système nécessitant une manutention (Manuelle et mécanique)	
F. Systèmes sources de dangers d'origine mécanique	
<p>Les explosifs</p> <p>La poussière</p> <p>Toxicité de fumées</p>	

G. Systèmes sources de dangers liés à la conception de l'ouvrage	
	G.1. Systèmes sources de dangers liés aux estimations (sous-estimations et /ou surestimations)
	G.2. Systèmes sources de dangers liés aux erreurs de calculs
	G.3. Systèmes sources de dangers liés aux erreurs d'interprétations des résultats
	G.4. Systèmes sources de dangers liés aux informations (incomplètes, erronées, etc.)
H. Systèmes sources de dangers liés à la réalisation de l'ouvrage	
	H.1. Systèmes sources de dangers liés aux travaux d'installation de chantier
	H.2. Systèmes sources de dangers liés aux travaux de terrassements et d'excavations
	H.3. Systèmes sources de dangers liés aux travaux de dérivation provisoire
	H.4. Systèmes sources de dangers liés aux travaux de coffrage et bétonnage
	H.5. Systèmes sources de dangers liés aux travaux des injections
I. Systèmes sources de dangers liés aux équipements	
	I.1. Systèmes sources de dangers liés aux travaux de la mise en place des appareils d'auscultations
	I.2. Systèmes sources de dangers liés aux équipements hydrauliques
	I.3. Systèmes sources de dangers liés aux équipements électriques
J. Systèmes sources de dangers liés aux fournisseurs	
	Défaillance d'un fournisseur-clé
	Augmentation des pris d'achat

4.3.3 Association des évènements

Le troisième travail s'agit de l'association des différents événements de danger relative a chaque sous système. Ligne par ligne, on va rechercher les évènements qui constituent les processus de danger pour aboutir à un ou plusieurs événements principaux.

Ces événements peuvent être d'origine interne ou externe au système source de danger. La chaîne événements initiateurs – événements initiaux produit des événements principaux.

Cette étape va nous donner 5 tableaux correspondant au sous-système source de danger (voir les tableaux 4.SS.)

Tableau 4.SS1. Association des événements pour SS1 Le corps du barrage et injections

Types de systèmes sources de danger Application de la grille		Phases de vie	Événements initiateurs		Événements initiaux		Événements Système principaux (ENS)
Système source de danger (c.f Tableau 4.1.)	Cible des systèmes sources de danger		Externes (environnement actif)	Internes	Liés au contenant (Externes)	Liés au contenu (Internes)	
A.1.	-Plots -Galerie -Pont -Evacuateur de crue -Rideau d'injection	Réa.	-Température caniculaire -la dissipation de chaleur due à l'hydratation du ciment -tremblement de terre -Forte pluviométrie -Massive instable -Minéralogie de l'eau	-Erreur humaine -Négligence -Investigation géotechnique insuffisante	-Température élevée (interne/externe) -Séisme -Inondation du chantier -Travail tectonique de la faille -Nature des apports d'eau	-Crue de projet - Sous pression	-Apparition des Fissures -Instabilité de l'ouvrage -Arrêt de chantier -Détérioration de la couche de roulement -Détérioration de l'étanchéité -Altération du parement amont
C.	-Plots -Galerie -Pont -Evacuateur de crue -Rideau d'injection	Réa.	-Non respect des plans d'implantation -Modification des plans -Main d'œuvre mal formé et/ou incompétent -Manque de rigueur dans le suivi -Pression de travail	-Erreur humaine -Négligence	-Incertitude topographique -Implantation de l'ouvrage	-Appareil non étalonné	-Ouvrage non conforme -Désaxement

G.	<ul style="list-style-type: none"> -Plots -Galerie -Pont -Evacuateur de crue -Rideau d'injection 	Con.	<ul style="list-style-type: none"> -Méconnaissance du personnel -Incompétence géotechnique insuffisante -Données hydrologiques insuffisantes -Mauvaise interprétation des résultats 	<ul style="list-style-type: none"> -Erreur Humaine -Négligence 	<ul style="list-style-type: none"> -Inconscience -Mauvais encadrement 	<ul style="list-style-type: none"> -Erreur dans la modélisation de l'ouvrage -Ouvrage qui ne satisfait pas les exigences
H.2.	-Plots	Réa.	<ul style="list-style-type: none"> - L'explosif -Travaux d'excavation en hauteur (îves) -Coffreur non qualifié -Suivi non rigoureux -Méconnaissance du personnel -Vibration non adaptée à la composition du béton et/ou aux caractéristiques de l'ouvrage -Calcul erroné - Non maîtrise du procédé -Main d'œuvre mal formée et /ou incompétente -Pression de travail 	<ul style="list-style-type: none"> -Erreur humaine -Négligence -Fatigue 	<ul style="list-style-type: none"> -Eboulement Rocheux 	<ul style="list-style-type: none"> -Détérioration des surfaces des plots centraux
H.4.	<ul style="list-style-type: none"> -Plots -Evacuateur -Galerie -Pont -Joint waterstop 	Con. Réa.	<ul style="list-style-type: none"> -Coffrage non conforme -Nids de cailloux. -Ségrégation -Déformabilité et instabilité du coffrage -Sous-dimensionnement des joints -Mise en place incorrecte des joints -Endommager le joint par des objets coupants 	<ul style="list-style-type: none"> -imperméabilisation du béton et agrégats -coffrage usé -Mauvais blindage -Matières des joints médiocre 	<ul style="list-style-type: none"> -l'aspect et forme du béton non conforme -Défaut de surface -Déplacement du plot -Infiltration des eaux entre les plots 	

H.5.	-Rideau d'injection	Réa.	- Non maîtrise du procédé -Main d'œuvre non qualifiés -Matériels non conforme	-Négligence -Erreur humaine -Erreur de commande	-Quantité d'injection insuffisante -Matériaux injectés inadéquats -Difficulté de forage	-Non résistance aux sous pressions -Point d'injection manqué et/ou raté
J	-Plots -Galerie -Pont -Evacuateur de crue -Rideau d'injection	Réa.	-Absence d'anticipation -Approvisionnement sous estimés -Mauvaise gestion	-Négligence -Erreur humaine -Mauvaise communication	-Rupture de stock (agrégats)	-Arrêt de chantier

Tableau 4.SS2. Association des événements pour SS2 les équipements

Types de systèmes sources de danger Application de la grille		Phases de vie	Événements initiateurs		Événements initiaux		Événements Système principaux (ENS)
Système source de danger (c.f Tableau 4.1.)	Cible des systèmes sources de danger		Externes (environnement actif)	Internes	Liés au contenant (Externes)	Liés au contenu (Internes)	
E.5.	-Appareils d'auscultation -Vannes de garde -Vannes de contrôle de débit -Vannes de dévasement	Réa.	-Conducteur d'engin et/ou manutentionnaires (mal formé et /ou mal entraîné) -Mauvaise communication	-Erreur humaine -Négligence	-Problème de manutention -Non respect des procédures	-difficulté de manoeuvre	-Dvs. ou endommagement de l'appareil d'auscultation -Dvs. ou endommagement de la vanne
G.	-Conduite blindée -Prise d'eau	Con. Réa.	-Calcul erroné -Information incomplète -Données insuffisantes -Essais de résistance mal fait -Méconnaissance du personnel -Corrosion	-Erreur humaine -Négligence	-Dimensions des conduites ne répondent pas aux exigences -Conduites de prise d'eau incorporée dans le corps du barrage -Matériaux utilisés n'atteint pas la résistance exigée	-Acier corrodé -% élever des impuretés	-Dégradation de la conduite lors de la vidange de fond (par les éléments charnié, la vitesse d'écoulement) -Débit de vidange de font non respecté -Inexploitation après une courte durée de mise en eau

I.1	-Appareils d'auscultation	Réa.	-Eléments tombé dans les forages -Faux et réserves non conforme avec les plans -La formation de la glace -la circulation d'air et d'eau dans les forages -Prise perdue suite aux injections -Mauvais assemblage	-Erreur humaine -Négligence tubage non étanche	- Manœuvre non qualifiée -Inconscience	-Mesure erronée lors De l'exploitation -Dys. de l'appareil d'auscultation
I.3.	-Equipement électriques -Appareils d'auscultation	Réa.	-Choc -Corrosion	Court-circuit	-Dénueement du fil	-Panne électrique -Incendie
J.	-Appareils d'auscultation -Vannes de garde -Vannes de contrôle de débit -Vannes de dévasement -Joint waterstop	Réa.	-Economie du marché -Absence d'anticipation -Modification d'instruction du maître d'ouvrage	-Négligence	-Inflation -Pénurie -Rareté des matériels	-Dépassement du délai de livrable -Sur coût de livrable

Tableau 4.SS3. Association des événements pour SS3 les engins

Types de systèmes sources de danger Application de la grille		Phases de vie	Événements initiateurs		Événements initiaux		Événements Système principaux (ENS)
Système source de danger (c.f Tableau 4.1.)	Cible des systèmes sources de danger		Externes (environnement actif)	Internes	Liés au contenu (Externes)	Liés au contenu (Internes)	
A.1.	-Engins -Main d'œuvres	Réa.	- Forte vitesse de vent -Méconnaissance du personnel	-Corrosion	-Coups de vent -Inconscience	-Conflit	-Renversement de l'engin. -Blessure
B.	-Engins -Main d'œuvres	Réa.	-Dys. des vérins -Mauvaise installation de chantier -Pression de travail -Personnel mal formé et /ou mal entraîné	-Erreur humaine -Négligence -Fatigue -stress -attitude	-Sabotage	-Conflit	-Arrêt de chantier
C.	-Conducteurs des engins	Réa.			-Mauvaise communication		-Accidents/ Incidents -Blessure -Usure du matériel
E.1.	-Engins	Réa.		-Négligence -Corrosion -Manque d'entretiens	-Charge inadéquate -Dys. d'engin -Vétusté d'engins		-Panne de l'engin.
E.3.	-Main d'œuvres	Réa.	-Mauvaise organisation de chantier	-Négligence	Encroisement au sol		-Blessure
J.	-Engins	Réa.	-sous-évaluation -Absence d'anticipation	-Négligence	Immobilisation des engins	-Gasoil -Pièces de rechange	Arrêt de chantier

Tableau 4.SS4. Association des événements pour SS4 la ressource humaine

Types de systèmes sources de danger Application de la grille		Phases de vie	Événements initiateurs		Événements initiaux		Événements Système principaux (ENS)
Système source de danger (C.f Tableau 4.1.)	Cible des systèmes sources de danger		Externes (environnement actif)	Internes	Liés au contenu (Externes)	Liés au contenu (Internes)	
B.	- Main d'œuvres - Cadres	Réa.	-Mauvaise communication -sabotage -Retard dans le payement		-Grève		-Arrêt de chantier
C.	- Main d'œuvres - Cadres	Réa.	-Incompétence -Mauvaise information/ compréhension	-Négligence -Malveillance	- Manœuvre non qualifié -Mauvais comportement		-Travail non conforme -Geste maladroit
D.	- Main d'œuvres - Cadres	Réa.	-Imprudence -Régime alimentaire non conforme	-Négligence	-maladie -Intoxication	-virus -pollution	-Manque d'effectif -Arrêt de chantier
E.1.	- Main d'œuvres - Cadres	Réa.	-Maladresse -Pression de travail	-Fatigue	-Inconscience		-Blessure
E.2.	- Main d'œuvres	Réa.	-Dys. Système d'accrochage des cordes -Maladresse -Mauvaise organisation de chantier -Pression de travail	-Fatigue -stress	-Absence de consignes de sécurité -Inconscience - Manœuvre non qualifié		-Chute -Blessure

E.3.	- Manœuvres	Réa.	-Maladresse - Pression de travail -Mauvaise organisation de chantier -Pression de travail -Problème de manutention des outils	-Fatigue	-Inconscience	-Blessure
E.4.	- Main d'œuvres - Cadres	Réa.	-Non disponibilité de la détection -Méconnaissance du personnel -Non respect des procédures -non respect des consignes de sécurité -Explosion imprévue	-Négligence -Fatigue -Toxicité -Choc	-Absence de consignes de sécurité -Inconscience	-Blessure
F.	- Main d'œuvres	Réa.	-Incompétence -Investigation géotechnique insuffisante -Mauvaise interprétation des résultats	-Erreur humaine	-Maladie -Blessure	-Manque d'effectif -Décès
G.	-Ingénieurs	Con.	-Incompétence -Mauvaise organisation de chantier -Pression de travail	-Négligence -Mauvaise communication	-Inconscience -Mauvais encadrement	-Erreur dans la modélisation de l'ouvrage
H.	- Main d'œuvres -Ingénieurs -Conducteurs des travaux	Réa.				-Ouvrage non conforme -Non atteint de la qualité

Tableau 4.SS5. Association des événements pour SS5 l'environnement

Types de systèmes sources de danger Application de la grille		Phases de vie	Événements initiateurs		Événements initiaux		Événements Système principaux (ENS)
Système de danger (c.f Tableau 4.1.)	Cible des systèmes sources de danger		Externes (environnement actif)	Internes	Liés au contenant (Externes)	Liés au contenu (Internes)	
A.1.	-Lit d'oued	Réa.	-Forte pluviométrie -Tremblement de terre		-Inondation -Affaissement -Séisme		-Arrêt de chantier -Eboulement rocheux -Glissement de terrain -Perte matériaux et/ou matériels
F.	-Village voisin	Réa.	-L'utilisation de l'explosif -L'excavation	-Quantité élevée de la dynamite -fausse manipulation	-Tassement différentiel -Mouvement de terrain		-Fissuration des constructions voisines -Arrêt de chantier -Eboulement rocheux -Glissement de terrain -Blessure

4.3.4. Construction des processus

Ce travail est une simple compilation des tableaux d'association des événements 4.SS.

En effet, cette étape consiste à isoler chaque sous-système. En reprenant chaque sous-système dans les tableaux 4.SS, On les représente sous formes de boîtes noires (processus) dont les entrées sont les événements initiateurs (colonne 3) d'origine externe ou interne et les sorties sont les événements principaux (ENS) la dernière colonne à droite ; donc on obtient les différentes boîtes noires présentée aux figures (de 4.7. jusqu'à 4.11.) suivantes :

Température caniculaire

La dissipation de chaleur due à
l'hydratation du ciment

Tremblement de terre

Forte pluviométrie

Massive instable

Minéralogie de l'eau

Non respect des plans d'implantation

Modification des plans

Main d'œuvre mal formé et /ou
incompétent

Manque de rigueur dans le suivi

Pression de travail

Négligence

Méconnaissance du personnel

Incompétence

Investigation géotechnique
insuffisante

Données hydrologiques insuffisantes

Mauvaise interprétation des résultats

L'utilisation de l'explosif

Travaux d'excavation en hauteur
(rives)

Coffreur non qualifié

Vibration non adaptée à la
composition du béton et/ou aux
caractéristiques de l'ouvrage

Non maîtrise du procédé

Main d'œuvre non qualifiés

Matériels non conforme

Erreur de commande

Absence d'anticipation

Approvisionnements sous estimés

Mauvaise gestion

Mauvaise communication

SS1
Corps du barrage
&
Injections

Apparition des Fissures

Instabilité de l'ouvrage

Arrêt de chantier

Détérioration de la couche de
roulement

Détérioration de l'étanchéité

Altération du parement amont

Ouvrage non conforme

Désaxement

Sous dimensionnement de
l'ouvrage

Ouvrage qui ne satisfait pas les
exigences

Détérioration des surfaces des
plots centraux

L'aspect et forme du béton non
conforme

Défaut de surface

Déplacement du plot

Non résistance aux sous pressions

Point d'injection manqué et/ou raté

Infiltration des eaux entre les plots

Figure 4.7. Boite noire du SS1 Corps du barrage & Injections

Conducteur d'engin et/ou
manutentionnaires (mal formé et /ou
mal entraîné)

Mauvaise communication

Négligence

Calcul erroné

Information incomplète

Données insuffisantes Essais de
résistance mal fait

Méconnaissance du personnel

Corrosion

Non respect des procédures

Main d'œuvre mal formé et /ou
incompétent

Fatigue

Manque de rigueur dans le suivi

Eléments tombé dans les forages

Faux et réserves non conforme
avec les plans

La formation de la glace

La circulation d'air et d'eau
dans les forages

Tubage non étanche

Prise perdue suite aux injections

Mauvais assemblage

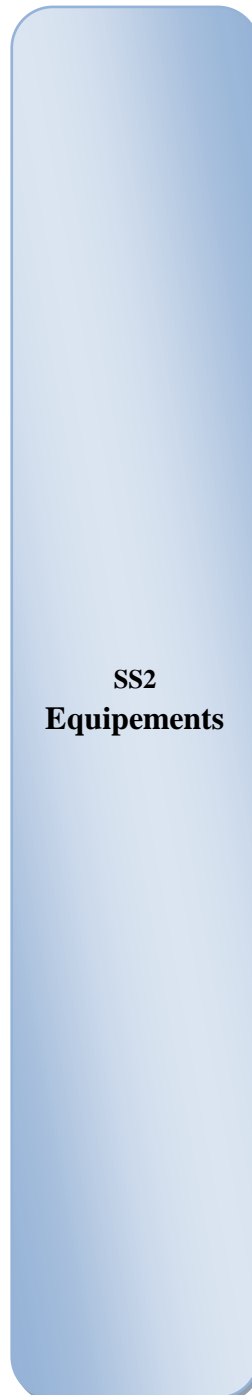
Choc

Court-circuit

Economie du marché

Absence d'anticipation

Modification d'instruction du maître
d'ouvrage



Dys. ou endommagement de
l'appareil d'auscultation

Dys. ou endommagement de la
vanne

Dégradation de la conduite lors de
la vidange de fond (par les
éléments charriés, la vitesse
d'écoulement)

Débit de vidange de font non
respecté

Inexploitation après une courte
durée de mise en eau

Infiltration des eaux entre les plots

Mesure erronée lors de
l'exploitation

Dys. de l'appareil d'auscultation

Panne électrique

Incendie

Dépassement du délai de livrable

Sur coût de livrable

Figure 4.8. Boite noire du SS2 Equipements

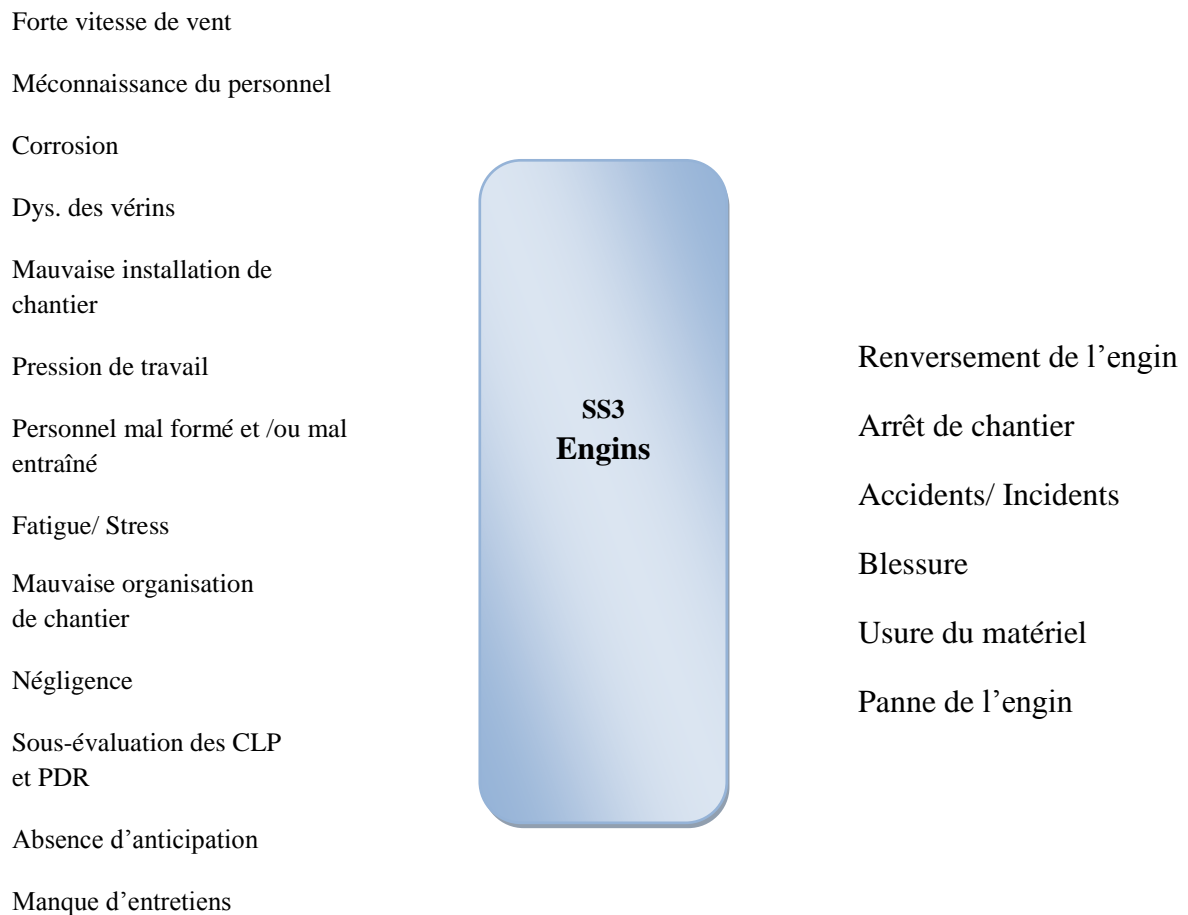


Figure 4.9. Boite noire du SS3 Engines

Mauvaise communication

Sabotage

Retard dans le paiement

Incompétence

Mauvaise information/
Compréhension

Imprudence

Négligence

Régime alimentaire non
conforme

Maladresse

Pression de travail

Dys. Système de l'accrochage
des cordes

Mauvaise organisation de
chantier

Fatigue/ Stress

Problème de manutention des
outils

Non disponibilité de la
détection

Méconnaissance du personnel

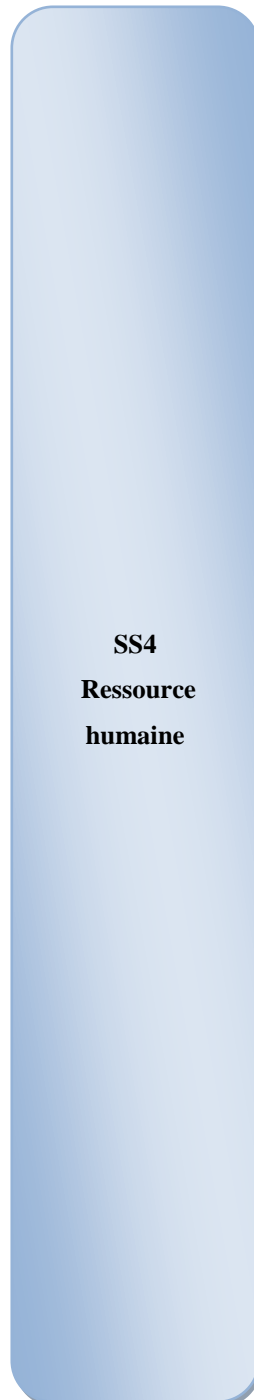
Non respect des procédures

Non respect des consignes de
sécurité

Explosion imprévue

Investigation géotechnique
insuffisante

Mauvaise interprétation des
résultats



Arrêt de chantier

Travail non conforme

Geste maladroit

Manque d'effectif

Chute

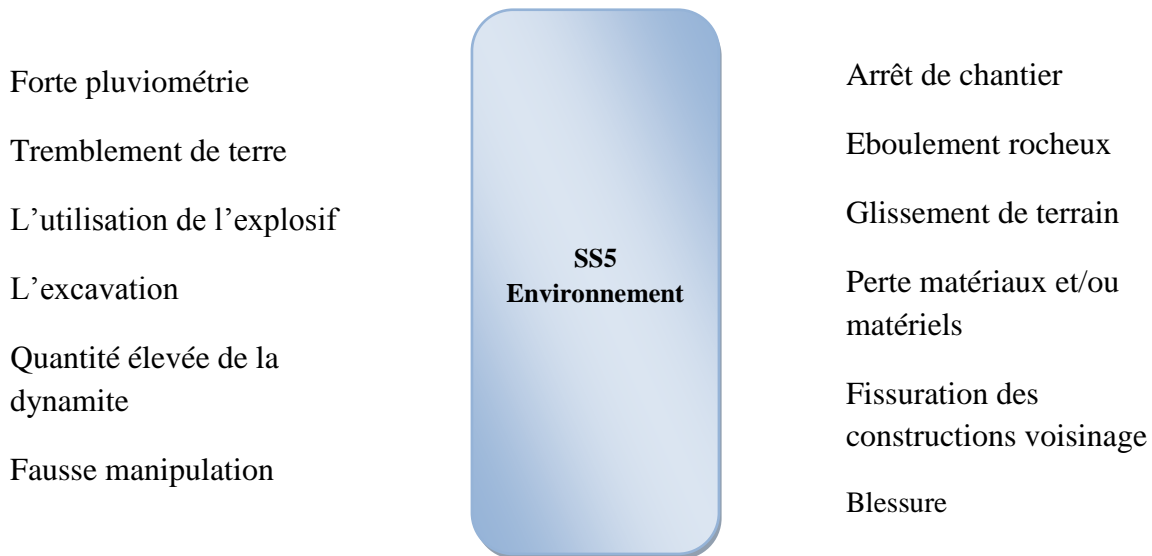
Blessure

Décès

Erreur dans la modélisation de
l'ouvrage

Ouvrage non conforme

Non atteint de la qualité

Figure 4.10. Boite noire du SS4 Ressource humaine**Figure 4.11.** Boite noire du SS5 Environnement

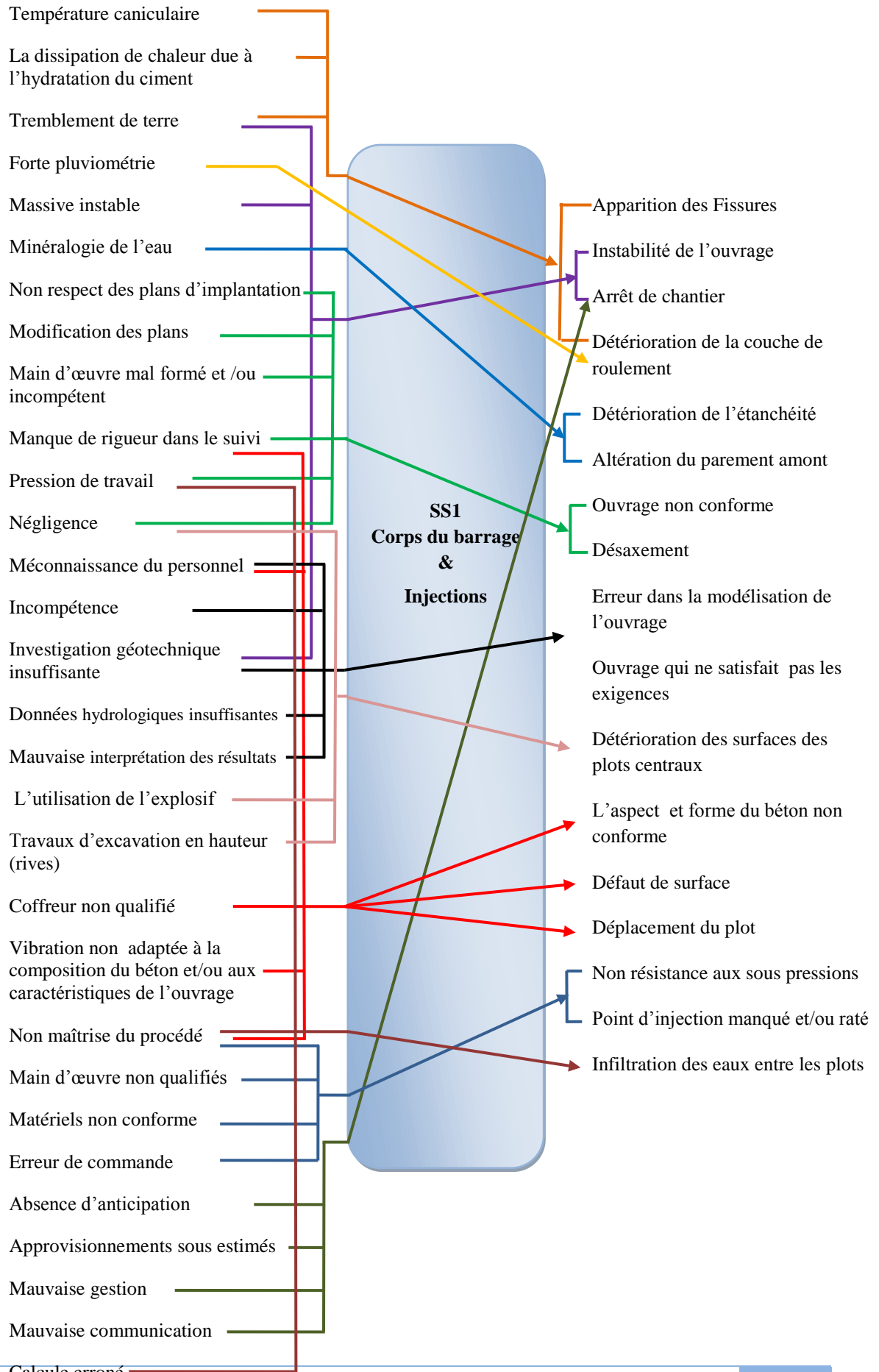
4.3.5. Construction des scénarios

Il s'agit maintenant de s'occuper de la génération de scénarios courts et de scénarios d'autodestruction. En effet, pour l'instant nous avons fait apparaître que les liaisons directes entre les événements d'entrée et de sortie des boîtes noires. Il faut maintenant combiner les événements d'entrée entre eux, les événements de sortie entre eux et identifier les retours en bouclage des événements de sortie et des événements d'entrée.

Après la génération des scénarios courts et les scénarios d'autodestruction de chaque sous système, nous allons mettre toutes les boîtes noires sur le même plan, dont il est possible de relier les sorties de certaines boîtes qui sont de même nature que les entrées d'autres boîtes. Par conséquent; nous obtiendrons des scénarios longs (voir Annexe B) d'enchaînements d'événements ou scénarios principaux d'ENS.

N.B : Pour éviter de se perdre très rapidement dans un fouillis de flèches et par soucis de visibilité, il est nécessaire d'écrire les scénarios au fur et à mesure qu'ils sont construits ainsi que de mettre chaque scénario par couleur.

Par la suite nous allons présenter, l'association des scénarios dans les figures suivantes :



On peut réécrire ces scénarios d'une manière plus lisible comme suite :

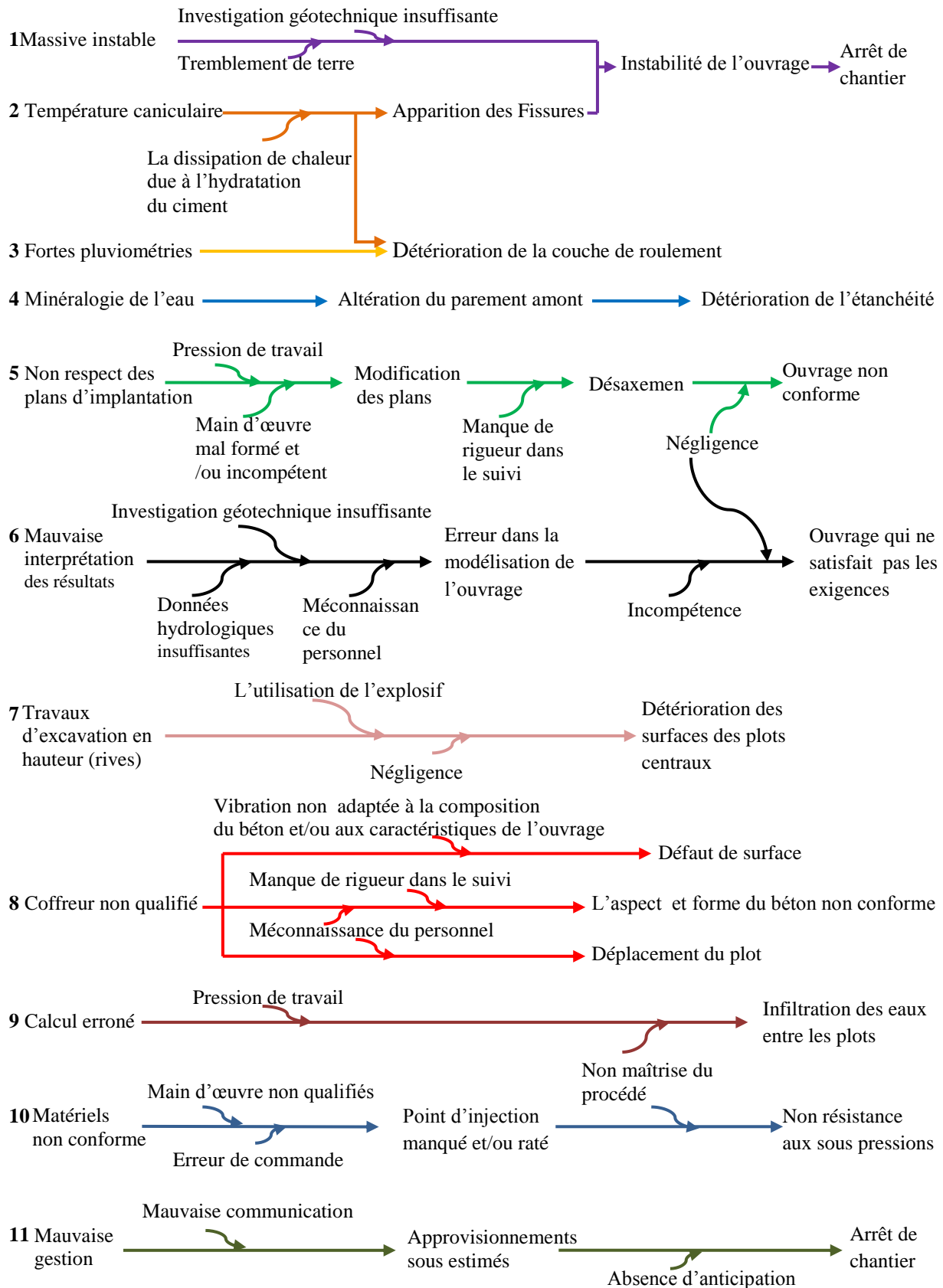
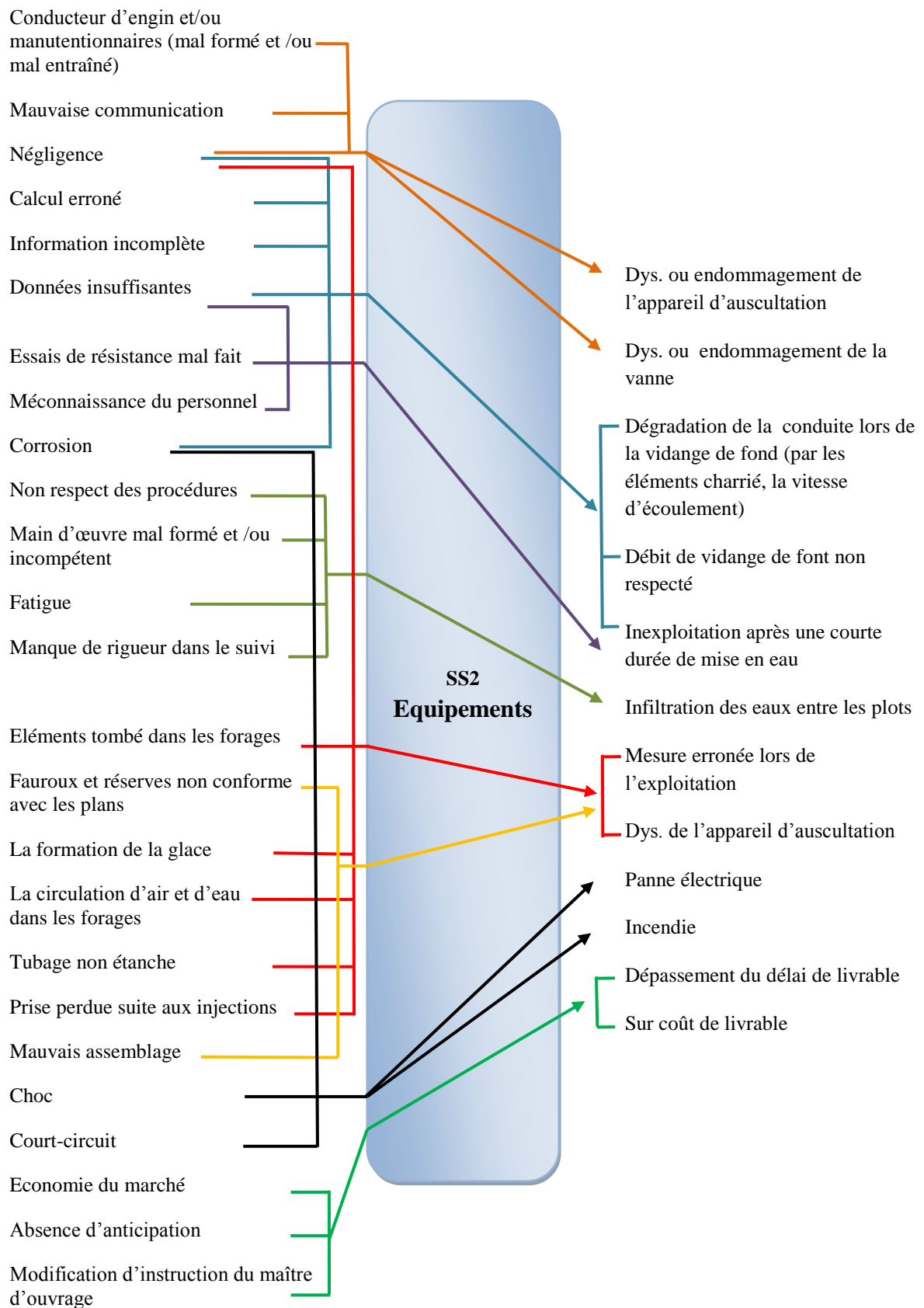


Figure 4.12. Scénario court du SS1 Corps du barrage & Injections



On peut réécrire ces scénarios d'une manière plus lisible comme suite :

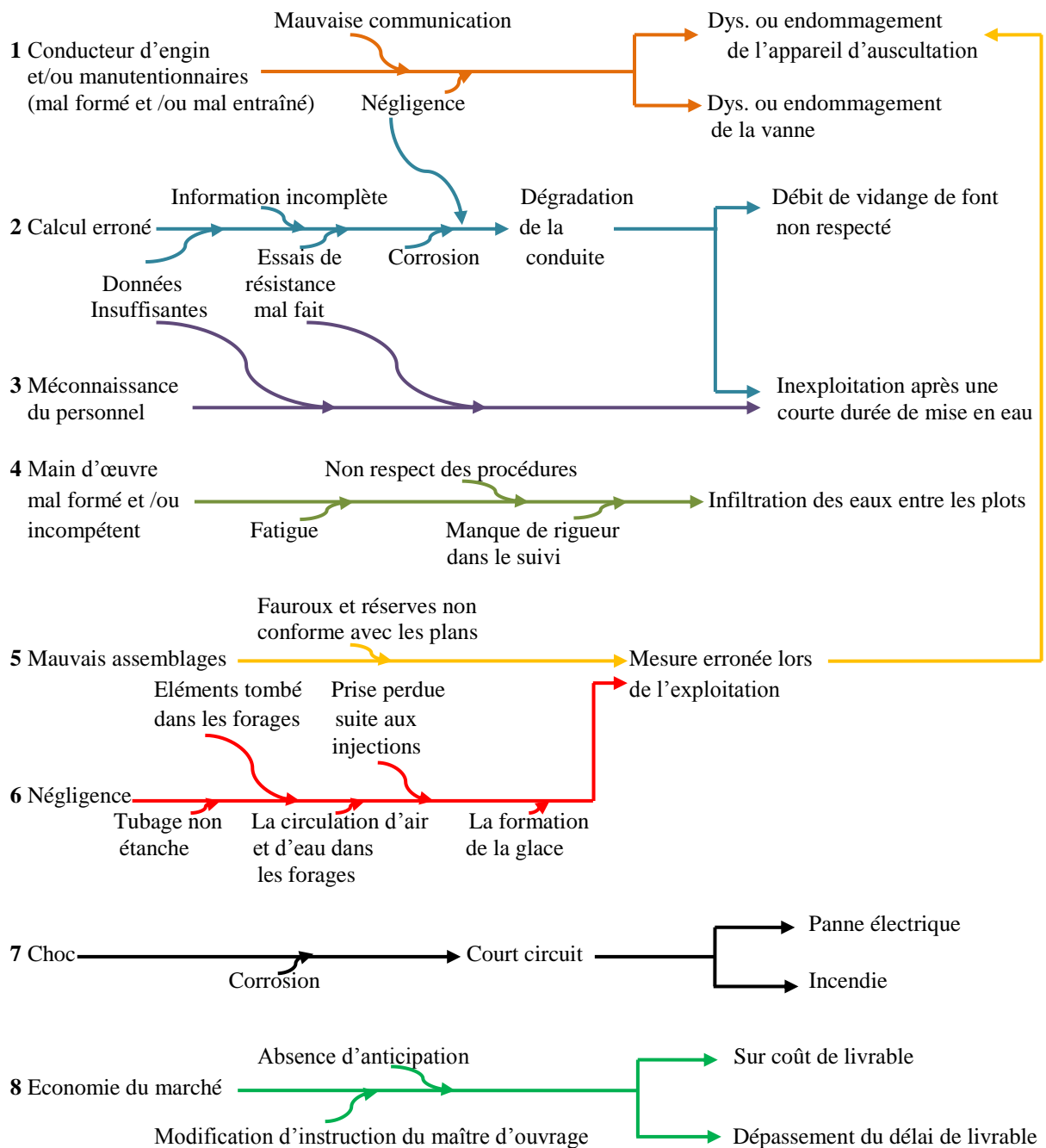
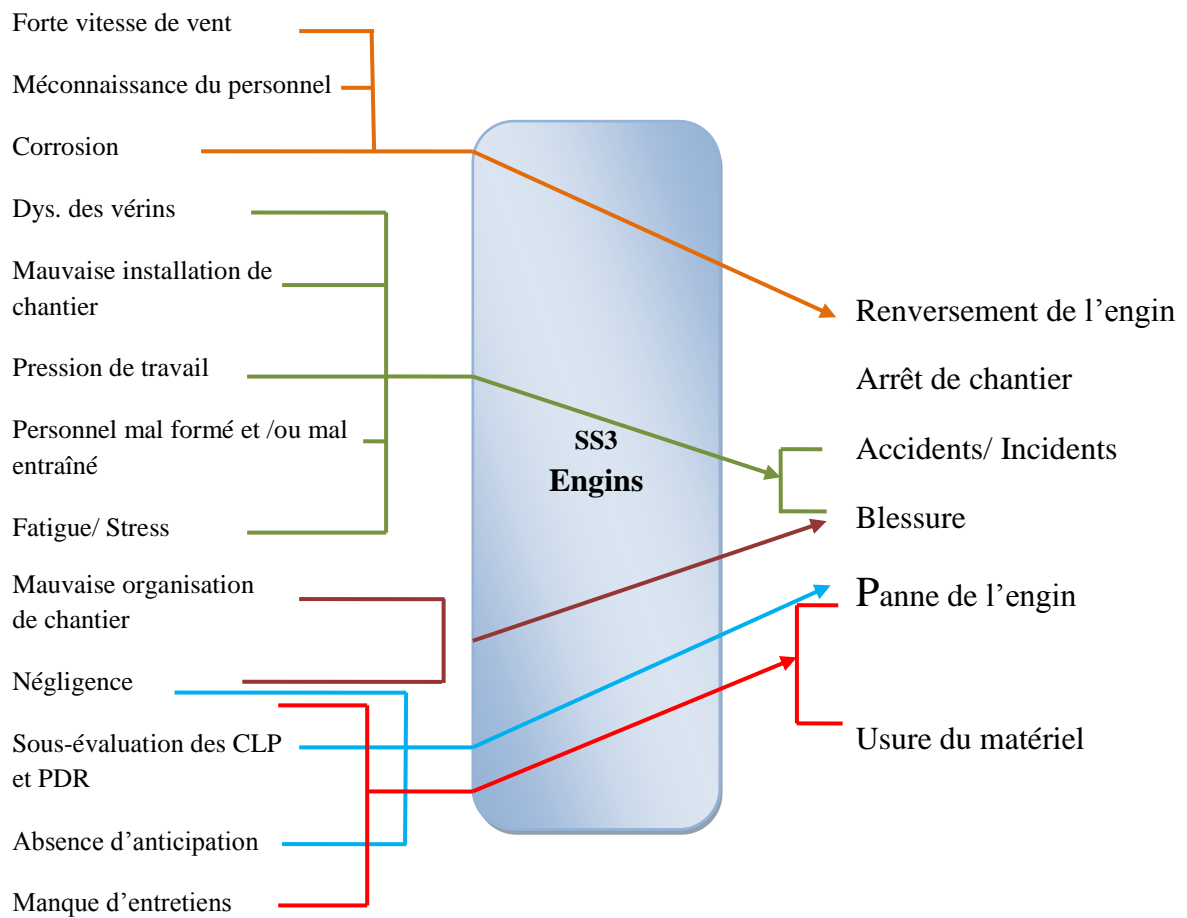


Figure 4.13. Scénario court du SS2 Equipements



On peut réécrire ces scénarios d'une manière plus lisible comme suite :

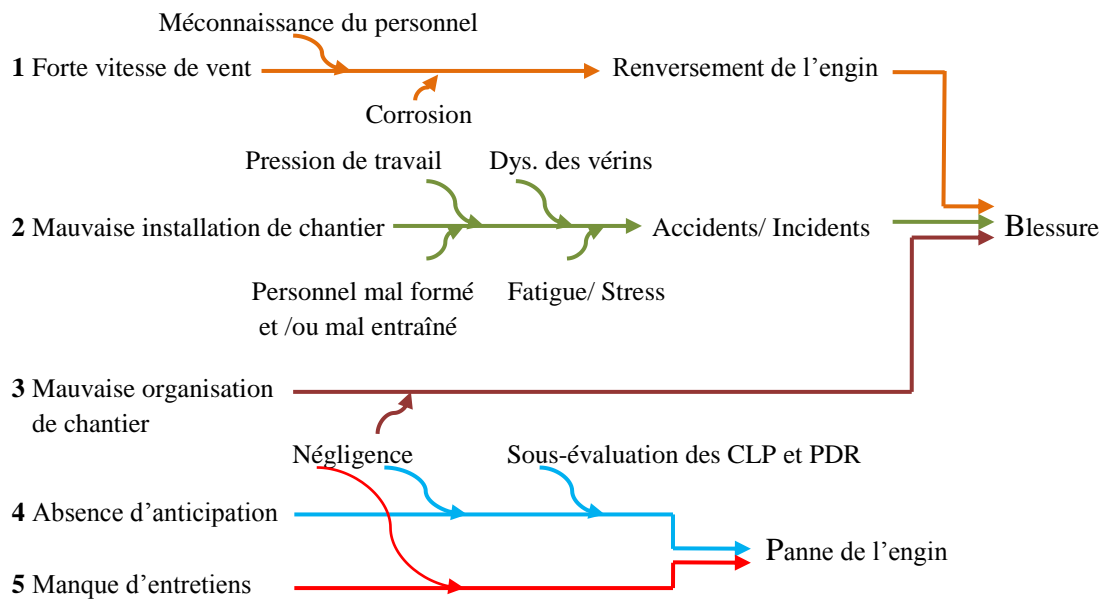
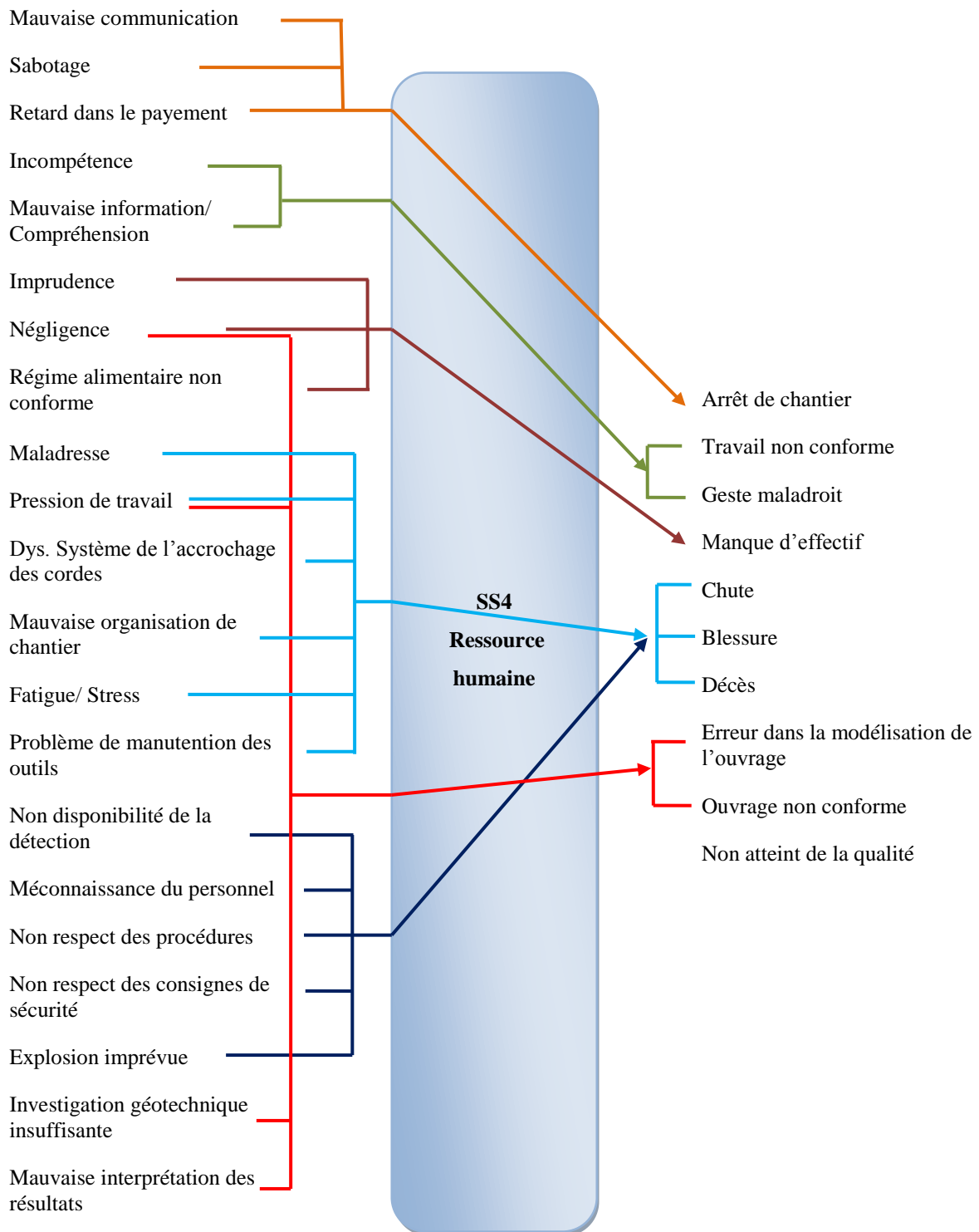


Figure 4.14. Scénario court du SS3 Engins



On peut réécrire ces scénarios d'une manière plus lisible comme suite :

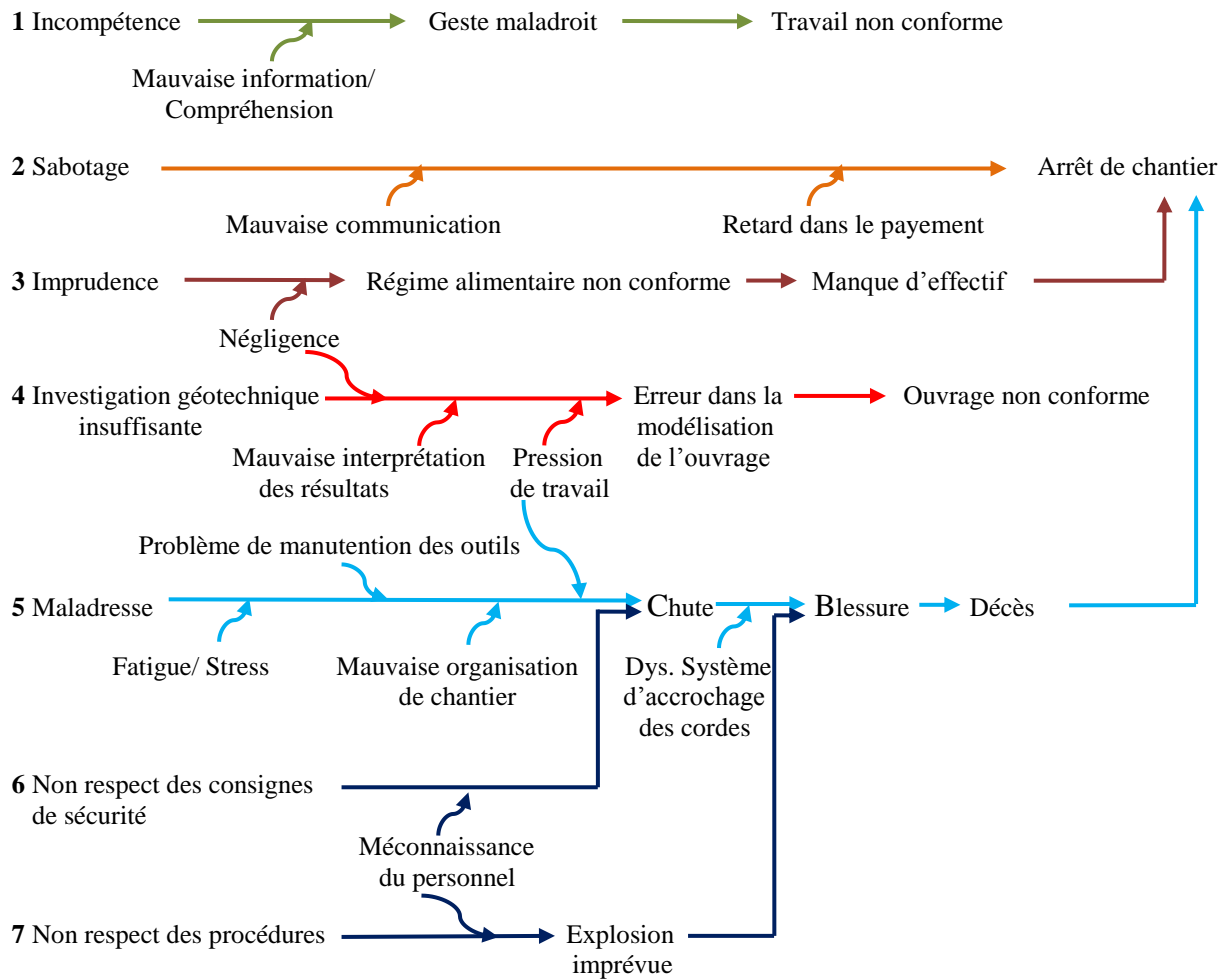
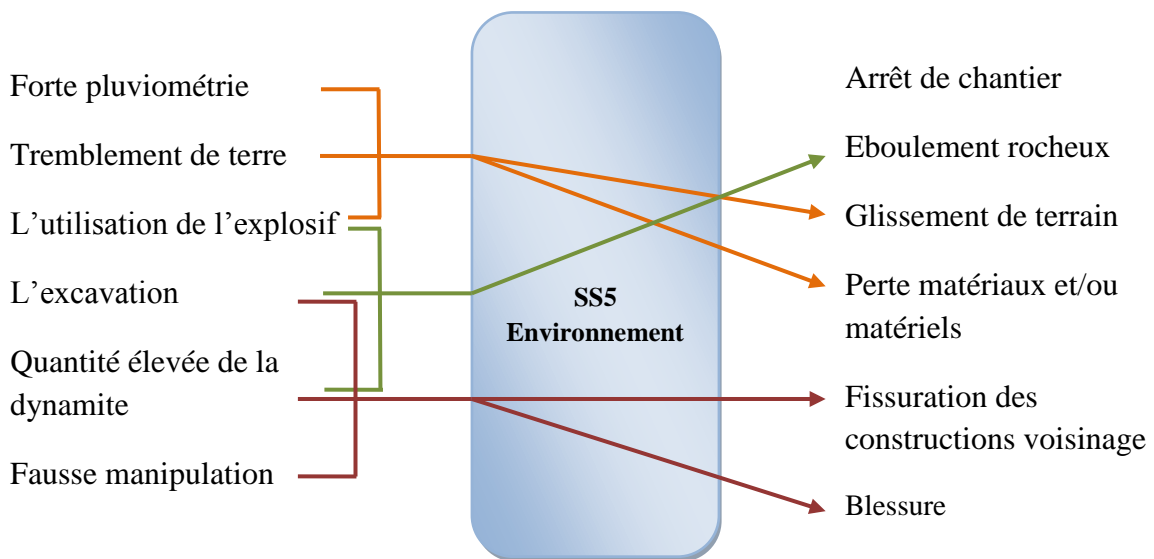


Figure 4.15. Scénario court du SS4 Ressource humaine



On peut réécrire ces scénarios d'une manière plus lisible comme suite :

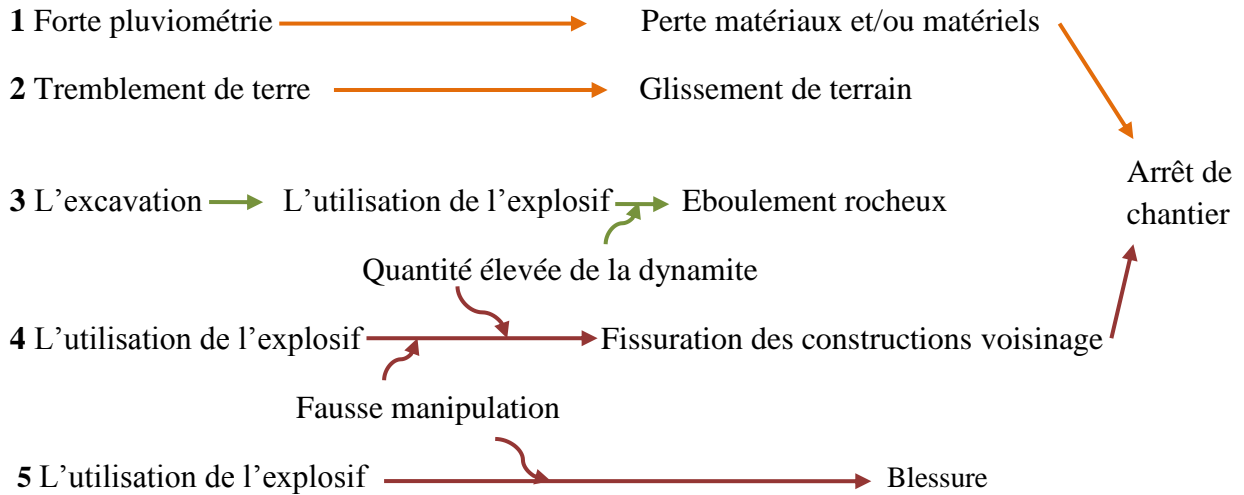


Figure 4.16. Scénario court du SS5 Environnement

4.3.6. Construction des arbres logiques

A partir d'un rassemblement des scénarios longs et des scénarios courts, on peut construire un arbre logique qui est l'ensemble des scénarios qui aboutissent à un même évènement non souhaité. Pour notre étude de cas, on va s'intéresser aux évènements principaux.

Les figures suivantes représentent les arbres logiques de notre système.

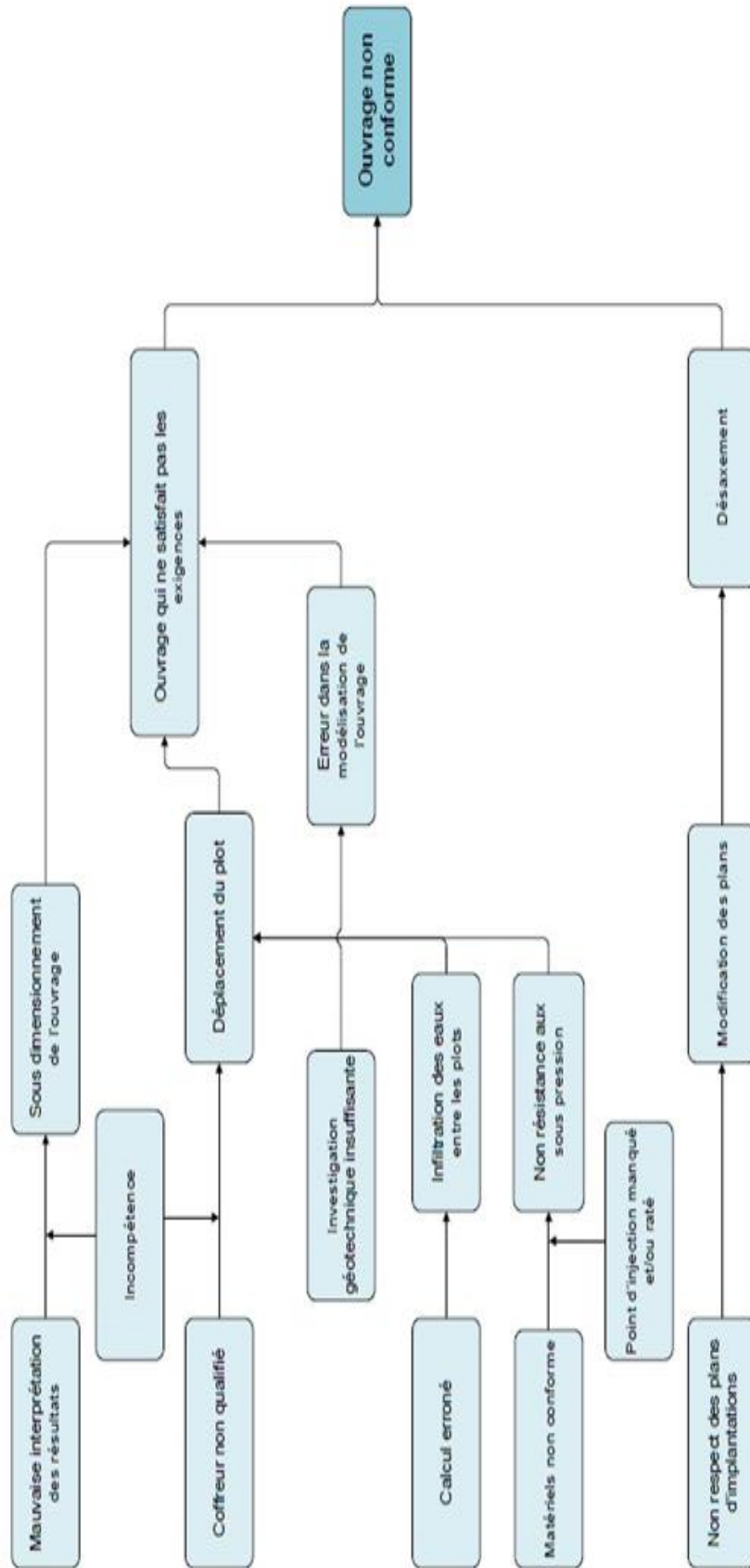


Figure 4.17. Arbre logique Ouvrage non conforme

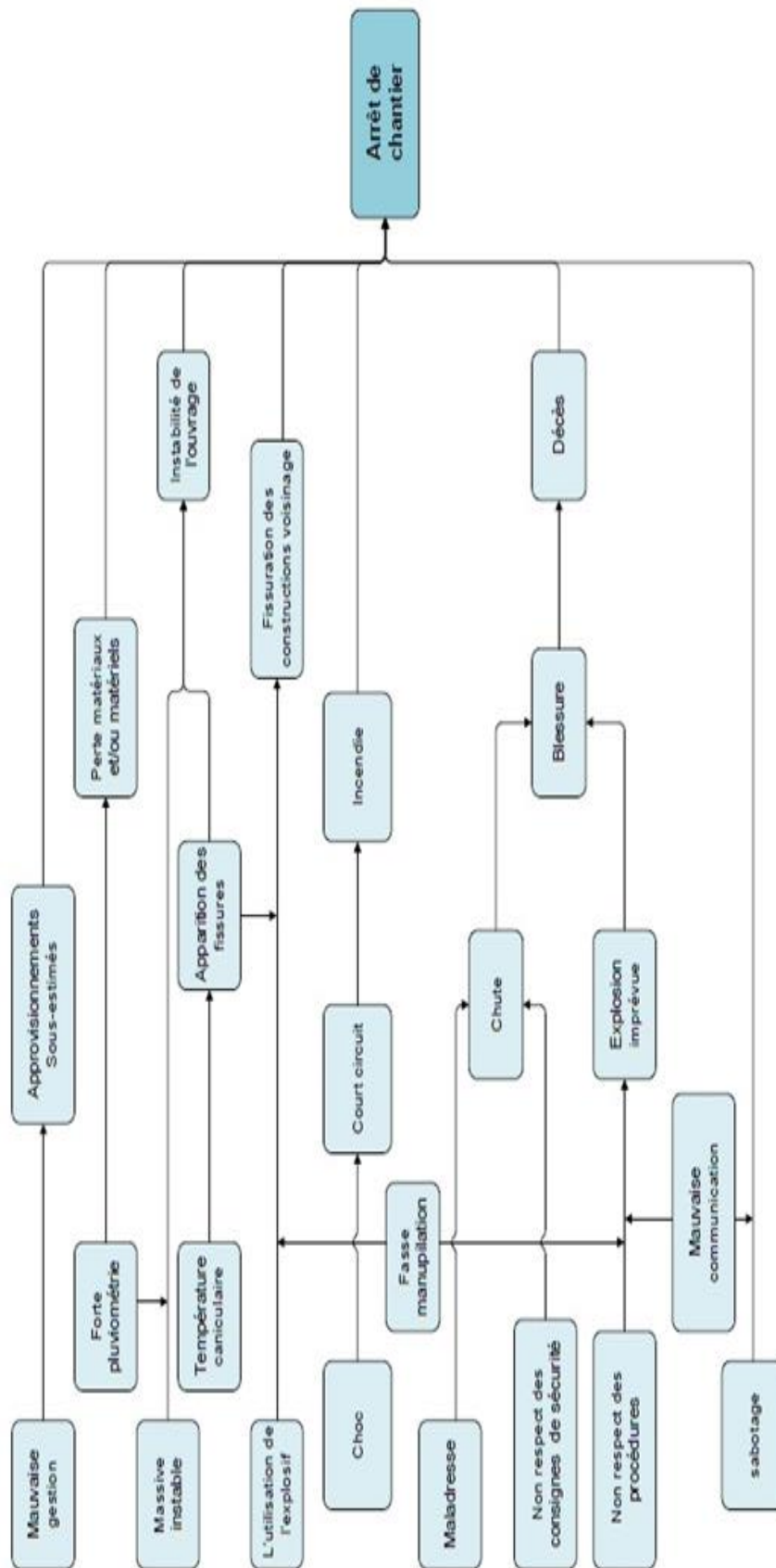


Figure 4.18. Arbre logique Arrêt de chantier

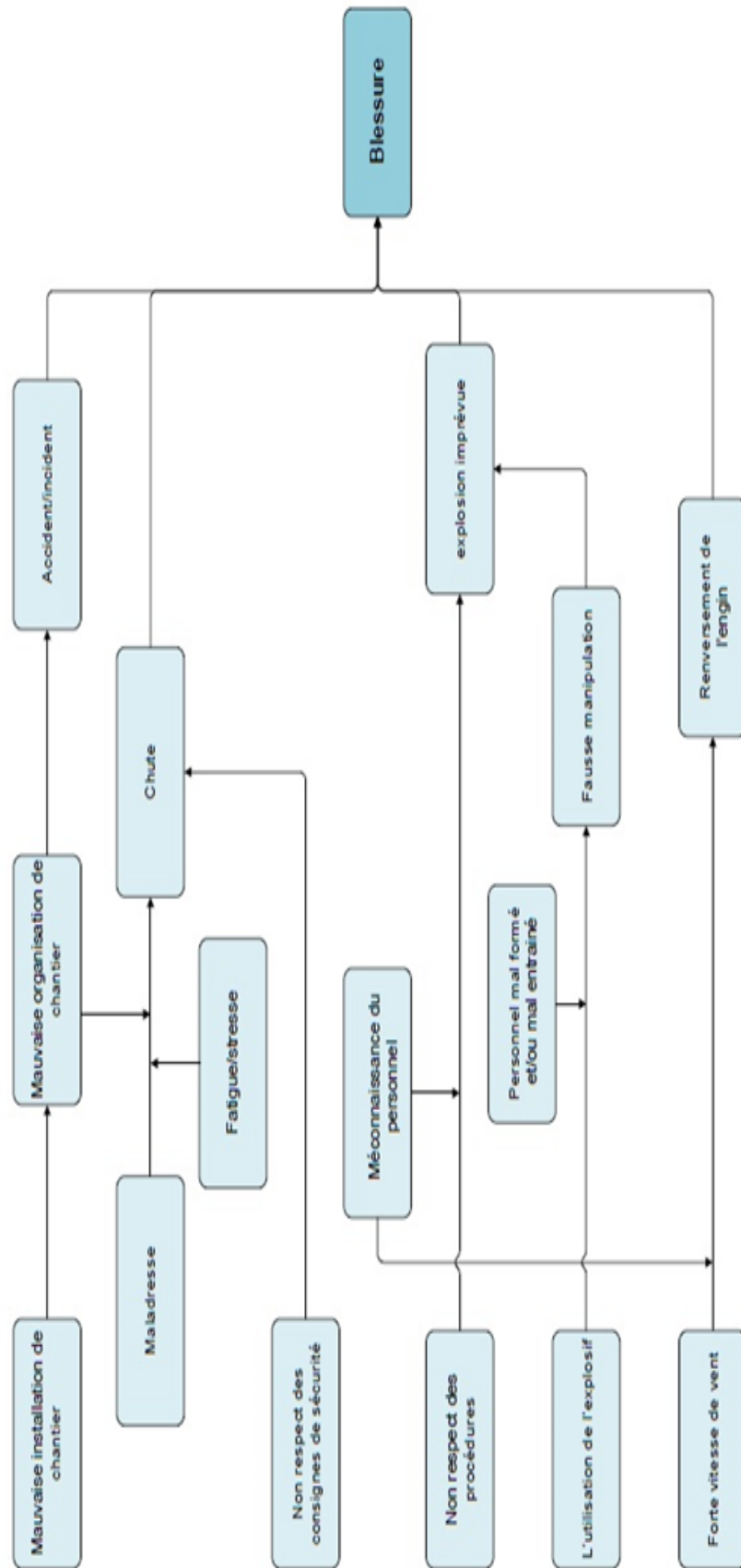


Figure 4.19. Arbre logique Blessure

4.3.7. Évaluation et hiérarchisation des scénarios

Cette étape permet d'évaluer l'importance des événements et leur impact sur les cibles pour chaque sous système, soit quantitativement si c'est possible (par le calcul éventuellement à l'aide de logiciels) ou qualitativement par travail de groupe ou le jugement d'experts.

Dans notre cas ; on va mettre les scénarios de chaque sous système ainsi les scénarios longs dans une grille de criticité (**Probabilité*Gravité**).

La première chose à faire est de négocier les niveaux des deux axes de la grille (on construit des axes à 4, 6 ou 8 niveaux ; toujours en nombre pair pour éviter la tendance à se situer dans un niveau médian) (OLIVIER GRANDAMS, 2010);

La deuxième chose à faire est de situer dans la grille la frontière entre ce qui est considéré comme acceptable et ce qui est considéré comme inacceptable après une négociation avec des experts dans le domaine. Ceci constitue un deuxième niveau d'hiérarchisation.

Avant d'hiérarchiser les différents scénarios nous proposons une échelle de probabilité (Tableau 4.2.) et autre de gravité (Tableau 4.3.) pour une meilleur compréhension.

Niveaux	Intitulé	Pourcentage
Niveau 1	Très improbable	< 10 %
Niveau 2	Improbable	10% - 35%
Niveau 3	Peu probable	35% - 60%
Niveau 4	Probable	>60%

Tableau 4.2. Echelle de Probabilité

Niveaux	Intitulé	Conséquences
Niveau 1	Mineur	Conséquence nulle
Niveau 2	Peu important	Blessure et/ou destruction du matériel
Niveau 3	Important	Blessure grave et/ou arrêt de chantier
Niveau 4	Très important	Décès + Arrêt de chantier et/ou Ouvrage non conforme

Tableau 4.3. Echelle de Gravité

N.B :

- Criticité acceptable < 6
- Criticité inacceptable ≥ 6

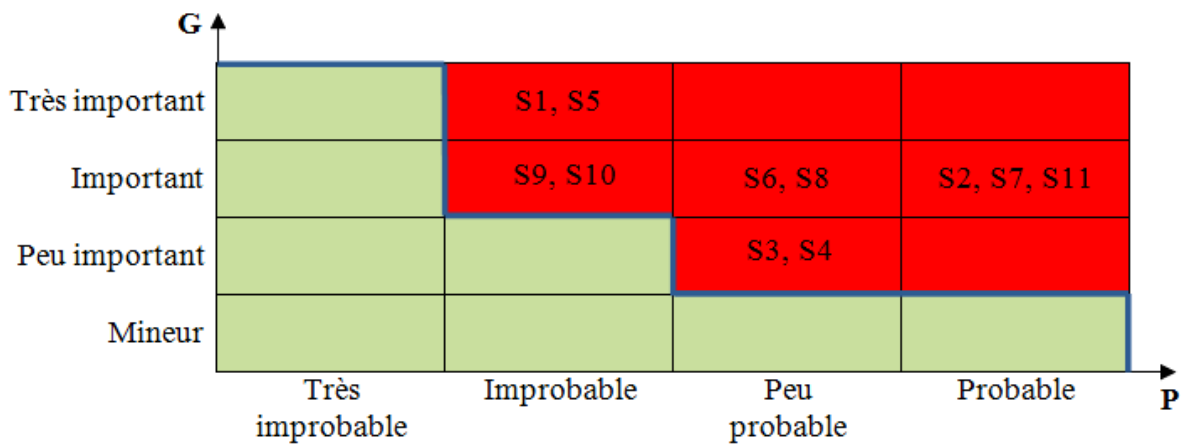


Figure 4.20. Grille de criticité pour le SS1 Corps du barrage & Injections

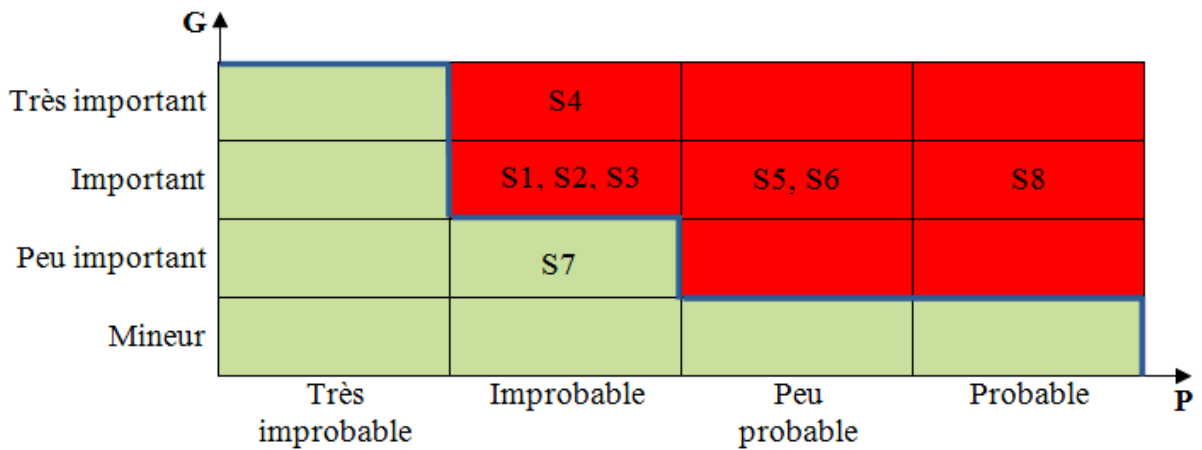


Figure 4.21. Grille de criticité pour le SS2 Equipements

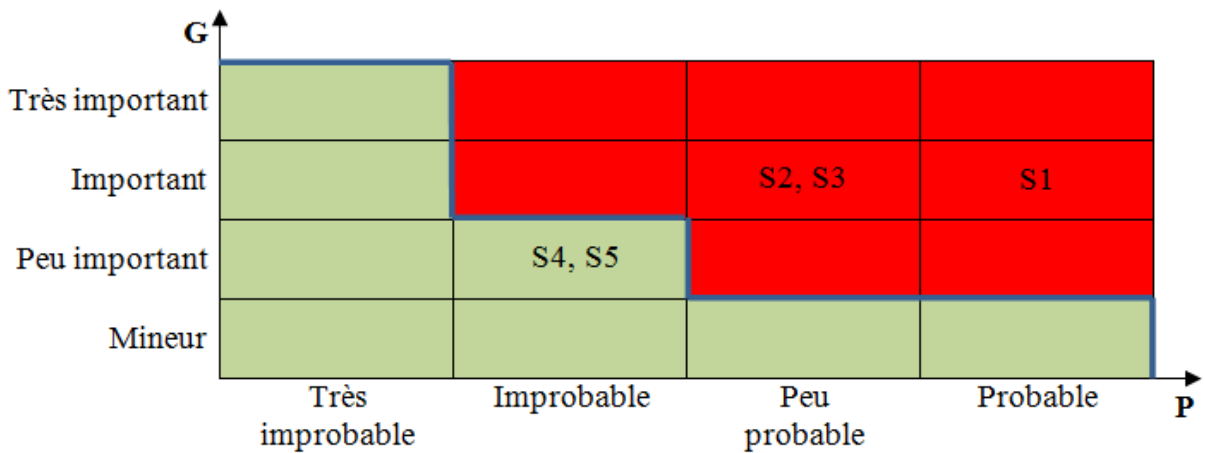


Figure 4.22. Grille de criticité pour le SS3 Engines

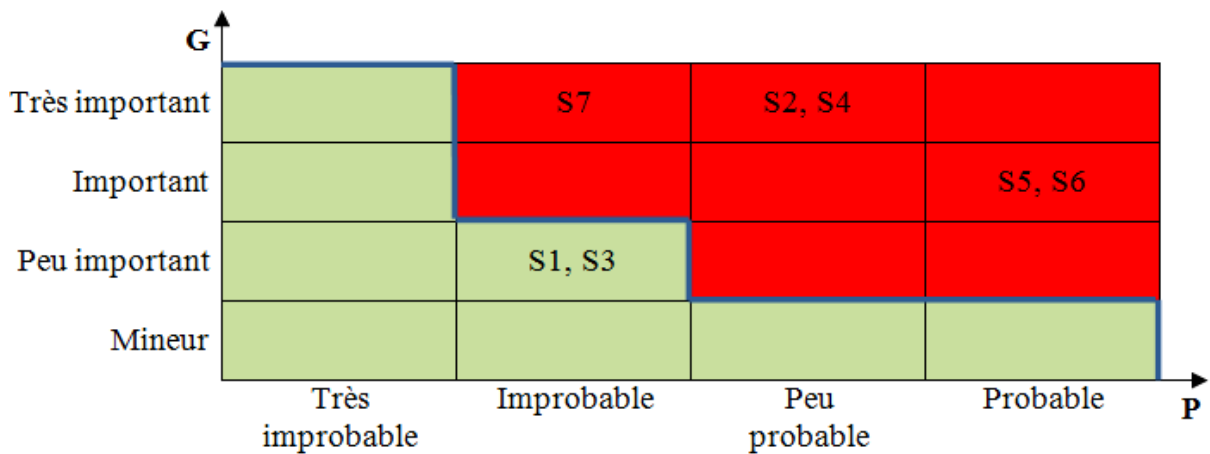


Figure 4.23. Grille de criticité pour le SS4 Ressource humaine

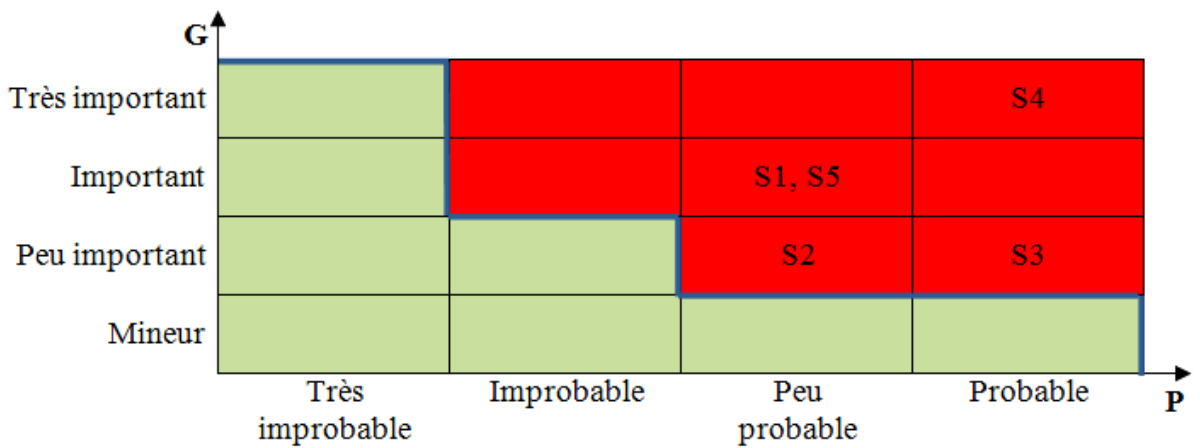
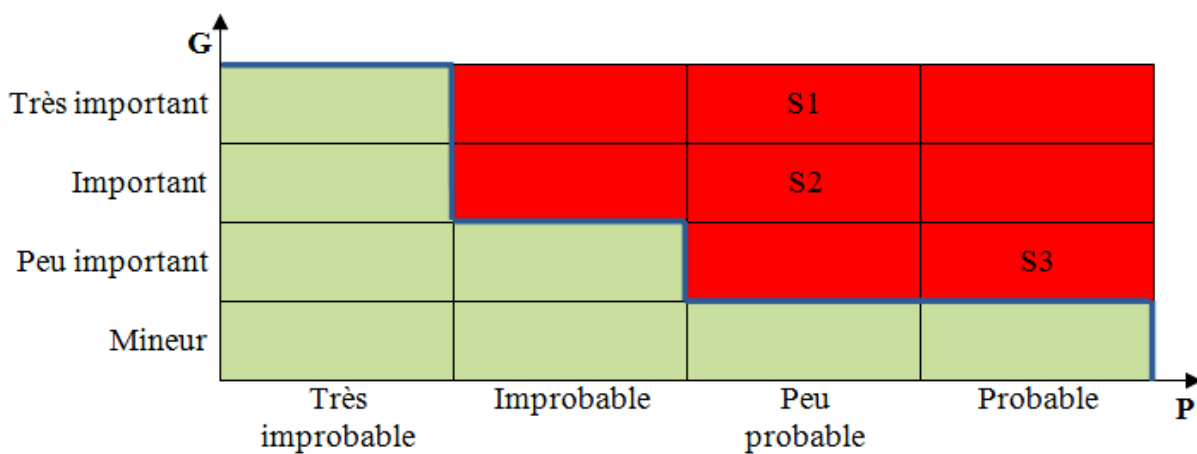


Figure 4.24. Grille de criticité pour le SS5 Environnement



S1: Ouvrage non conforme

S2: Arrêt de chantier

S3: Blessure

Figure 4.25. Grille de criticité pour les scénarios longs

4.3.8 Identification des mesures de maîtrise des risques

Cette étape consiste à associer les mesures de maîtrise des risques ou « barrière » à chaque scénario. Ces barrières vont permettre de neutraliser les scénarios identifiés.

Pour renforcer la prévention on recherche aussi les barrières possibles tout le long du scénario aussi bien sur les événements que sur leurs enchaînements. On distinguera deux types de barrières (PERILHON P., 2004) :

- *Barrière technologique* : il s'agit d'un élément ou ensemble technologique faisant partie intégrante de l'installation, qui s'oppose automatiquement à l'apparition d'un événement préjudiciable à la sécurité et que ne nécessite pas l'intervention humaine.
- *Barrière d'utilisation* : il s'agit d'une action nécessitant une intervention humaine, reposant sur une consigne précise, activée ou non par un élément ou un ensemble technologique (procédure, mode opératoire, application de règles, protections individuelles ...).

Les barrières mises en œuvre pour maîtriser les processus et les scénarios sont codifiées selon la grille de typologie présentée dans le tableau 4.4

Tableau 4.4. Typologie associée aux barrières (GRANDAMS O., 2010).

Typologie des barrières
Conception
Contrôle technique
Surveillance
Procédure
Maintenance
Document
Consignation
Balisage
Formation
Habilitation
Consigne
Protection collective
Protection individuelle
Disposition constructive
Mesurage
Surveillance médicale
Suivi
Information
Sensibilisation

Les BU sont souvent considérées comme étant plus faibles que les BT. Elles sont en fait très sensibles à la formation, et notamment à la formation sécurité, des opérateurs. L'identification des barrières se fait à l'aide d'un tableau (tableau 4.5.) qui facilite le travail

Tableau 4.5. Identification des barrières

Scénarios longs	EIE / EII	Barrières		Typologie associé aux barrières
		Type	Action	
1	-Non respect des plans d'implantation -Coffreur non qualifié	BU	Former la main d'œuvre	Formation
			Assurer la rigueur dans le suivi	suivi
	-Mauvaise interprétation des résultats -Investigation géotechnique insuffisante	BU BT	Maitriser les incertitudes liées aux essais géotechniques(avoir une accréditation ISO17025)	Procédure
			Confier le travail a un exécutant habilité	Habilitation
	-Calcul erroné -Sous dimensionnement de l'ouvrage	BU BT	Contrôler en interne les notes de calcul et plans	Conception Suivi
			Contrôler en externe les notes de calcul et plans (intervention d'une tierce partie)	
			S'assurer de la fiabilité des données et des informations	
	-Matériel non conforme	BU BT	Contrôler la conformité du matériel selon la tâche souhaité	Maintenance
			Vérifier et examiner le matériel périodiquement	
	-Erreur dans la modélisation de l'ouvrage	BU	Consulter les experts dans le Domain des barrages	Information
2	-Mauvaise gestion -Approvisionnement sous estimer -Mauvaise communication	BU BT	Appliquer un management de projet efficace et efficient	Formation Procédure Document
			Utiliser le retour d'expérience (Feed back)	
			Maîtriser la qualité selon la norme ISO 9001	
			Assurer la traçabilité	
	-Massive instable -Température caniculaire -La dissipation de la chaleur due a l'hydratation du ciment	BU BT	Utiliser les coulis d'injection	Disposition constructive Contrôle technique
			Augmenter la profondeur de l'encrage des fondations	
			Ferrailler le premier mètre du parement amont	
			Maitriser la température de l'eau de gâchage	Procédure
			Maîtriser le procédé de bétonnage	
			Installer un serpentin de refroidissement dans les plots	
Arroser les surfaces en contact avec l'air après le bétonnage				

Scénarios longs	EIE / EII	Barrières		Typologie associé aux barrières
		Type	Action	
2	-Choc -Corrosion	BT	Utiliser un équipement électrique nouveau	Maintenance Surveillance
			Installer les détecteurs incendie	Surveillance
	-Sabotage	BU	Gérer la situation	Formation
			Savoir négocier	
	-Régime alimentaire non conforme	BU	Respecter le plan hygiène et sécurité	Procédure
			Sensibiliser le personnel des moyens généraux	Sensibilisation
	-Forte pluviométrie -L'utilisation de l'explosif -Fausse manipulation	BU	Assurer une bonne installation de chantier	Procédure
			Assurer le chantier (un contrat d'assurance)	consigne
			Respecter la quantité de la dynamite mentionnée dans le rapport de l'expertise de l'ingénieur des mines	
			Former la main d'œuvre qui participe à installation de l'explosif	Formation
3	-Forte vitesse de vent -Non respect des consignes de sécurité -Non respect des procédures -Maladresse	BU BT	Assurer une bonne installation et fixation des engins en hauteur (crues, etc.)	Consigne Procédure
			Respecter le plan hygiène et sécurité	
			Obliger les personnes pressentent sur le chantier de porter les EPI	
			Suivi les consigne de sécurité sur le chantier	
			Utiliser les balisages et les panneaux d'affichage	Balisage
			Sensibiliser la main d'œuvre	Formation
			Promouvoir l'information, la formation et l'éducation dans le domaine de la santé	
	Assurer la rigueur dans l'application des consignes de sécurité	suivi		
	-Mauvaise organisation de chantier	BU BT	Adapter le circuit de la circulation et accès du chantier selon la nature des travaux et des engins	Consigne Procédure Formation
	-Fatigue / stresse		Instaurer un climat de travail qui repend aux besoins physique et psychologique des employer	Surveillance médicale

4.4. CONCLUSION

Globalement, nous pouvons dire que MADS-MOSAR est une bonne méthode d'analyse de risque. En effet, si elle a été essentiellement créée pour des applications dans le monde de l'industrie, elle n'en reste pas moins parfaitement transposable à d'autres domaines comme le domaine de génie civil.

Après la mise en œuvre de la méthode MADS-MOSAR dans le projet de barrage nous avons distingué que cette méthode est souple dans son utilisation. De plus, et cela est très intéressant pour notre étude, elle est extrêmement flexible et s'adapte très bien à notre cas d'étude. Nous avons remarqué que le point négatif de la méthode est qu'elle ne nous dit pas si notre liste de scénarios ou de source de danger est complète. Par conséquent, nous avons en permanence une liste non exhaustive d'événements, ce qui peut amener à oublier certains risques.

Nous pensons que dans le futur, il faudra compléter cette étude en recherchant de nouveaux scénarios de risque, de nouvelles sources de danger et de nouvelles barrières.

CONCLUSION GENERALE



Figure 4.26. Bétonnage de la parie encrée des plots centraux du barrage voûte mince d'oued That Wilaya de MASCARA.

*« Plus on va loin, plus la
connaissance baisse. »*

Lao-Tseu

CONCLUSION GENERALE

Le management des risques dans les projets de barrages est un sujet important. Mais est-ce vraiment un sujet ? C'est plutôt un impératif, présent de façon plus ou moins explicite dans tout acte et toute décision de chaque intervenant dans la conception, la construction et l'exploitation d'un barrage. La maîtrise dépend de beaucoup de petits détails de conception et d'exécution, autant que des choix fondamentaux de projet.

Il faut noter que le management des risques appliqué aux barrages est un domaine en pleine évolution au niveau international. Il y a un intérêt certain pour cette approche, mais une certaine prudence de la plupart des acteurs. On reconnaît les indéniables progrès de l'analyse de risques, sur les aspects transparence des hypothèses et de la démarche, sur sa prise en compte de l'ensemble des facteurs de risques. On peut constater aussi une relative diversité de la mise en œuvre des méthodologies, phénomène normal pour une démarche encore « jeune », mais qu'il faudra vraisemblablement encadrer progressivement par des recommandations, voire des standards, plus précis.

Les limitations ne doivent certainement pas freiner l'usage du management de risques dans le domaine des barrages. Comme toute nouvelle méthodologie prometteuse, il faut au contraire accumuler de l'expérience, seul moyen de mieux comprendre ses forces et ses faiblesses, pour consolider les méthodologies, et pour une meilleure compréhension de ses résultats.

Le risque zéro n'existe pas dans les projets de barrages comme d'ailleurs tout autre projet, mais lesdits risques peuvent être acceptés en mettant tous les moyens pour les gérer, les transférer à une assurance, les partager ou bien les éviter.

Dans ce travail d'initiation à la recherche effectué à la faculté de la technologie de l'université de Tlemcen, nous nous sommes engagés dans une action nouvelle dans le domaine de la construction des barrages : celle de la formalisation et la modélisation des risques dans les projets de barrage. C'est à notre connaissance le premier travail de cette nature dans le cadre national.

Grâce à la méthode MOSAR, l'ensemble des étapes nécessaires à une analyse des risques est finalisé et conduit à l'évaluation et à la hiérarchisation des risques. La méthode associe en plus au module d'analyse proprement dit, un module de recherche de solutions pour le traitement des risques qui sont apparus comme inacceptables. Ces étapes ne suivent pas forcément parfaitement le guide de la méthode MOSAR de référence, certaines modifications sont intégrées au fur et à mesure de l'application soit pour répondre aux attentes de MOSAR par un autre biais, soit juste pour contourner les difficultés infranchissables dans le temps réel de l'expérimentation. L'utilisation de l'analyse fonctionnelle et de l'approche systémique a permis de mieux voir les risques de chaque sous-système du barrage et par conséquent, faciliter l'analyse des risques par la méthode MADS-MOSAR.

L'utilisation de cette méthode nous montre que les risques les plus importants sur le projet de barrage sont : ouvrage non conforme, arrêt de chantier et blessure. On notera aussi que l'utilisation de la méthode par son formalisme fait ressortir d'autre risque qui conduisent au dysfonctionnement des équipements de barrage qui induisant une mauvaise exploitation après la mise en eau. A l'issue de ce travail, nous pouvons voir que la mise en œuvre de MADS-MOSAR a fourni des blocages, pas forcément de même ampleur. Ces difficultés ont concerné principalement :

- Le besoin de travailler avec une équipe pluridisciplinaire (les experts, etc.).
- Le besoin du retour de connaissances des nombreuses expériences vécues.
- l'évaluation de probabilités, gravités de chaque scénario d'accident et/ou incident et de l'acceptabilité.

Ces blocages ne sont pas apparus comme provenant forcément de la même source, ni comme étant du même ordre. Certains apparaissent comme intrinsèques à la méthode quel que soit le contexte d'application.

Finalement, le résultat de cette méthode appliquée sur le projet de barrage voûte mince d'oued Taht (Wilaya de MASCARA) nous donne une liste exhaustive de solutions à mettre en place pour prévenir tous les risques répertoriés dans la méthode. La question sera alors, est-ce que le traitement de ces risques est techniquement et/ou économiquement faisable ou non ?

Certainement face a ce travail s'ouvre des opportunités, ouvrant la voie a de nouveaux projets de recherche qui enrichissent d'une part les connaissances et traitent d'autre part les différents risques vécus au niveau des aménagements hydrauliques de notre pays.

BIBLIOGRAPHIE

- **A.D.E.M.E (2003)** « *Guide pour le montage de projets de petite hydroélectricité* », guide et cahier technique [France].
- **AMORMANSER, directeur de maintenance, du contrôle et de l'exploitation des infrastructures ANBT (2013)** « *érosion et envasement des barrages et réservoirs* » exposé publié sur le site de la ANBT, [Suisse].
- **BELLIER J. (1967)** « *Les barrages* », Techniques de l'Ingénieur, [c740]. [France].
- **BENBLIDIA M. (2011)** « *L'efficience de l'utilisation de l'eau et approche économique ; étude nationale, Algérie* », étude nationale publié sur le site de centre d'activité régionales PNUE/PAM, [France].
- **BOUHLALI M. (2006)** « *les risques associés aux barrages* », Mémoire de Magister en Génie Civil, Département de Génie Civil, Faculté de Technologie, Université de Tlemcen, [Algérie].
- **BOUNIE.D(2008)** « *Les méthodes d'analyse de risques* », polytechnique de Lille-IAAL, l'usine agro-alimentaire [France].
- **BOURABAH M. A. (2012)** « *Comportement mécanique des sols fins, application à la valorisation des sédiments de barrages en technique routière* », thèse de Doctorat en Génie Civil, Département de Génie Civil, Faculté de Technologie, Université de Tlemcen, [Algérie].
- **BREYSSE D. (2009)** « *Maitrise des risques en génie civil 1* », maitrise et gestion des risques dans l'aménagement de la construction, [France].
- **BREYSSE D. (2009)** « *Maitrise des risques en génie civil 2* », maitrise et gestion des risques dans l'aménagement de la construction, [France].
- **BREYSSE D. NIANDOU H. CHAPLIN M. JABBOUR F. (2009)** « *Identification des risques pour les projets de construction* », revue des pratiques internationales et propositions, université de Bordeaux [France].
- **C.S.B (2005)** « *Dossier de l'ouvrage d'accumulation* », recommandations du comité suisse des barrages pour l'établissement du dossier de l'ouvrage d'accumulation. [Suisse].

- **CHULLIAT O. TQUET B. & BOUTET J.M. (2013)** «*le confortement du barrage du Chambon*», [France].
- **DALI A. (2008)** «*La futur norme ISO en gestion des risques ?*», ARM, EFARM Directeur associé - ATLASCOPE [France].
- **DE VIVO M.M., secrétaire générale de la CIGB (2007)** «*Les barrages & l'eau dans le monde*», un livre sur le rôle des barrages dans la gestion de l'eau, [France].
- **DELAGE P. HABIB P. & DE GENNARO V. (2000)** «*La sécurité des grands ouvrages*», l'Ecole nationale des ponts et chaussées, [France].
- **DEROO L. & JIMENEZ B. (2011)** «*Notes sur l'accidentologie des barrages poids*», [France].
- **DEROO L. (2011)** «*Notes sur l'accidentologie des barrage-poids*», Colloque CFBR-AFEID, Etudes de dangers, [France].
- **DJAOUT I. (2009)** «*méthodes d'analyse des risques dans les entreprises générant des produits à risques*», Master recherche génie industriel. [France].
- **FELIPE MUNOZ G. (2007)** «*Utilisation des ensembles méthodologiques MADS-MOSAR* », Thèse de Doctorat, institut nationale polytechnique de lorraine [France].
- **GERMA (2011)** «*La formation au management des risques dans les projets de génie civil et urbain*», mallette pédagogique, [France].
- **GRANDAMS O. (2010)** «*Méthode MADS-MOSAR- pour en favoriser la mise en œuvre*», Techniques de l'Ingénieur, (se4062). [France].
- **GUIDE GERMA (2012)** «*Management des projets complexes de génie civil et urbain*», [France].
- **HERLIN A. BREYSSE D. LEDOUX Y. & COHEN A. (2011)** «*Trois approches complémentaires pour l'analyse des risques de projet* », rencontre universitaire de génie civil. Tlemcen [Algérie].
- **ISL Bureau d'Ingénieurs Conseils (2011)** «*étude complémentaire de l'APD du barrage Taht*», Mémoire justificatif [France].
- **ISL Bureau d'Ingénieurs Conseils (2011)** «*étude complémentaire de l'APD du barrage Taht*», Mission 4 /Optimisation technico-économique [France].
- **ISL Bureau d'Ingénieurs Conseils (2011)** «*étude complémentaire de l'APD du barrage Taht*», Mission 1 /Analyse critique des études antérieures [France].

- **ISL Bureau d'Ingénieurs Conseils (2011)** « *étude complémentaire de l'APD du barrage Taht* », Mission 3 /Revue de l'étude géologique et géotechnique [France].
- **KERT C. (2008)** « *L'amélioration de la sécurité des barrages et ouvrages hydrauliques* », rapport publié sur le site du sénat, [France].
- **KREUZER H. (2002)** « *The use of risk analyses to support dam safety decision and management* », rapport general Q.76. Compte-rendu 20^{ème} congrès CIGB, [Chine].
- **Laboratoire de construction hydraulique (2011)** « *Barrages & ouvrages annexes* », un cours publié sur le site de l'école polytechnique fédérale de Lausanne, [Suisse].
- **LAKERMI A. (2013)** « *Management des risques géotechniques dans un projet routier par la méthode AMDEC et MADS-MOSAR; cas de la bretelle principale « A » de l'échangeur de la RN02* », Mémoire de Master en Génie Civil, Département de Génie Civil, Faculté de Technologie, Université de Tlemcen, [Algérie].
- **LE RAY J. (2012)** « *Premiers pas dans le management du risques* », Techniques de l'Ingénieur, (g9000). [France].
- **Lino-ISL. M (2001)** « *Techniques de réhabilitation modélisation des barrages poids* », 3^{ème} Conférence Nationale Fiabilité des Matériaux et des Structure "JNfiab3", Bordeaux, [France].
- **MAZOUNI M.H. (2008)** « *pour une meilleur approche du management des risques* », Thèse de Doctorat, institut nationale polytechnique de lorraine [France].
- **MEGNOUNIF A. & KARA D. (2010)** « *L'approche systémique et l'analyse des risques, cas des systèmes hydraulique de la wilaya de Tlemcen* », 1er Séminaire International Euro-méditerranéen Sur L'Aménagement Du Territoire, Batna, [Algérie].
- **Ministère de la Prévention des Pollutions et des Risques MPPR(2004)** « *Les ruptures de barrages* », [France].
- **MORTUREUX Y. (2005)** « *La sureté de fonctionnement : méthodes pour maîtriser les risques* », Techniques de l'Ingénieur, (bm5008). [France].
- **MOZAS M. & GHOSEN A. (2013)** « *Etat des lieux du secteur de l'eau en Algérie* », institut de prospective économique du monde méditerranéen (IPEMED), [France].

- **NGUYEN T.H. (2011)** « *contribution à la planification de projet : proposition d'un modèle d'évaluation des scénarios de risque-projet*», Thèse de Doctorat, institut national polytechnique de Toulouse [France].
- **PERILHON P. (2003)** « *MOSAR-présentation de la méthode*», Techniques de l'Ingénieur, (se4060). [France].
- **PERILHON P. (2004)** « *MOSAR-cas industriel*», Techniques de l'Ingénieur, (se4061). [France].
- **PEYRAS L. (2002)** « *Diagnostic et analyse des risques liés au vieillissement des barrages*», thèse de Doctorat en Génie Civil, Université de la méditerranée, [France].
- **POUPART M. (2012)** « *Analyse de risques et barrages éléments de contexte international*», Assistance, audit et conseil, sécurité des barrages et ouvrages hydrauliques, [France].
- **REMINI B. (2007)** « *L'envasement des barrages : quelques exemples algériens* », Maitre de conférence université de Blida, [Algérie].
- **REMINI B. (2010)** « *La problématique de l'eau en Algérie du nord* », Maitre de conférences université de Blida, [Algérie].
- **ROUISSAT B. (2008)** « *La gestion des ressources en eau en Algérie : situation, défis et apport de l'approche systémique* », publié sur le site de la faculté de technologie, Faculté de Technologie, Université de Tlemcen [Algérie].
- **SCHLEISS A.J. & POUGATASCH H. (2011)** « *Les barrages ; volume 17*», Traité de génie civil de l'école polytechnique fédérale de Lausanne, [Suisse].
- **UNIDSR (2009)** « *Terminologie pour la prévention des risques de catastrophe*», Stratégie internationale de prévention des catastrophes des nations unies [Suisse].
- **M.P.P.R, (2004) Ministre de la Prévention des Pollutions et des Risques:**
Les ruptures de barrages.

WEBOGRAPHIE

Site Consulté	Date De Consultation
www.icold-cigb.org	14/03/2014
www.csb.com	02/04/2014
www.hydropower-dams.com	02/04/2014
www.ipemed.coop.com	08/03/2014
www.mre.gov.dz	14/03/2014
www.elmoudjahid.com	13/03/2014
www.senat.fr	27/03/2014
www.sndl.com	06/03/2014
www.fseg.univ-tlemcen.dz	08/03/2014
www.anbt.dz	08/03/2014
www.unisdr.org/publications	04/04/2014
www.iso.org	14/04/2014
www.ecologie.gouv.fr	18/03/2014
www.barrages-cfbr.eu	15/04/2014
www.documents.irevues.inist.fr	02/04/2014

GLOSSAIRE

A

Accident C'est un événement ou une séquence d'événements imprévus qui résultent en blessure ou la mort d'homme, en des dommages à la propriété, aux installations, à la production ou à l'environnement, ou en une combinaison des conséquences précitées.

Aléa Probabilités d'un événement qui peut affecter le système étudié (naturel ou technologie).

Aménagement a but unique aménagement qui se limite à un seul but, la navigation fluviale par exemple.

Aménagement a buts multiples aménagement conçu pour répondre à au moins deux des objectifs suivants : irrigation, production électrique, contrôle des crues, loisirs, préservation de la vie sauvage et aquatique. Par opposition à aménagement à but unique qui ne répond qu'à un besoin.

Analyse des risques l'analyse des risques est l'utilisation des informations disponibles pour estimer les risques concernant des individus ou des populations, des biens ou l'environnement, entraines par des phénomènes dangereux. L'analyse des risques comprend en général les étapes suivantes : définition du domaine d'application, identification des phénomènes dangereux et évaluation des risques. Cohérent avec la définition courante du dictionnaire du mot analyse (a savoir, « examen détaillé d'un phénomène complexe effectuée pour comprendre sa nature et déterminer ses caractéristiques principales »), l'analyse des risques implique une décomposition du système étudié et des sources de risques en composants élémentaires.

Appui Partie latérale de la vallée contre laquelle le barrage est construit. Un appui artificiel (ou culée) est parfois construit en béton pour reprendre la poussée d'un barrage-voûte quand il n'y a pas d'appui naturel.

Auscultation Mise en œuvre d'appareils de mesures installés dans ou auprès d'un barrage pour évaluer le comportement et les performances d'une structure.

B

Barrage à contreforts Barrage dont le mur amont repose sur une succession de contreforts. Ces barrages peuvent notamment comporter une dalle plane amont ou des contreforts élargis à l'amont ou des voûtes entre les contreforts.

Barrage à voûtes multiples Barrage à contreforts présentant plusieurs voûtes en amont.

Barrage de dérivation Barrage construit pour faire dériver l'eau d'un cours d'eau dans un autre direction.

Barrage en béton Compacté au rouleau barrage poids construit avec un béton peu humide, amené sur le chantier et compacté sur place, à l'aide de gros engins tractés à rouleaux vibrants.

Barrage en enrochements Barrage en remblai dont plus de 50% du volume total comprend des blocs compactés ou déversés, des rochers, des fragments rocheux ou de la roche de carrière de dimension généralement supérieure à 10 cm.

Barrage en maçonnerie Barrage construit principalement en pierres ou briques avec des joints en mortier. Ce terme ne s'applique pas aux barrages n'ayant qu'une façade en maçonnerie.

Barrage en remblai Barrage construit en matériaux naturels trouvés et extraits sur place ; il s'agit des barrages en terre ou en enrochement.

Barrage en terre Barrage en remblai formé de plus de 50 % de terre compactée.

Barrage Ouvrage artificiel construit en travers d'une vallée et qui permet de retenir de l'eau ou tout matériau transporté par l'eau, ceci dans le but de créer une retenue d'eau et d'en contrôler le débit.

Barrage-poids Barrage construit en béton et/ou en maçonnerie et dont la stabilité est due à son propre poids.

Barrage-voûte Barrage en béton ou en maçonnerie incurvé vers l'amont afin que la plus grande partie de la poussée de l'eau se transmette sur les rives.

Barrière de sécurité ou **Mesure de maîtrise des risques** ensemble d'éléments techniques et/ou organisationnels nécessaires et suffisants pour assurer une fonction de sécurité. On peut distinguer :

- Les mesures (ou barrières) de limitation : mesures visant à limiter l'intensité des effets d'un phénomène dangereux.
- Les mesures (ou barrières) de prévention : mesures visant à éviter ou limiter la probabilité d'un événement indésirable, en amont du phénomène dangereux.
- Les mesures (ou barrières) de protection : mesure visant à limiter les conséquences sur les cibles potentielles par diminution de la vulnérabilité.

Bassin de tranquillisation (réception) Bassin construit à l'aval d'un barrage pour dissiper l'énergie de l'eau, provenant par exemple d'un évacuateur, afin de protéger le lit de la rivière de l'érosion.

Bassin versant Le bassin versant est, pour un barrage, la zone située en amont du barrage (souvent exprimée en km³). Les précipitations tombants dans le bassin versant d'un barrage ont vocation à ruisseler et couler jusqu'au barrage

Batardeau Structure temporaire réalisée pendant les chantiers afin que la construction des ouvrages définitifs puisse se faire à sec. Un batardeau de diversion permet de faire dévier un cours d'eau dans une conduite, un canal, un tunnel...

C

Capacité des évacuateurs Débit maximum qui peut passer par les évacuateurs de crues d'un barrage quand le réservoir est à son plus haut niveau (exprimé en mètres cubes par seconde)

Chenal d'évacuation Chenal ouvert ou conduite fermée permettant le passage de l'eau de l'évacuateur jusqu'à la rivière en aval.

Chenal Terme général pour tout conduit naturel ou artificiel permettant le passage de l'eau.

CMP Crue maximum possible qui peut être attendu suite à des conditions météorologiques et hydrologiques très sévères dans le bassin hydrographique étudié.

Conduite forcée Conduite amenant l'eau sous pression depuis le réservoir jusqu'à la centrale hydroélectrique.

Conduite Un passage fermé qui permet de faire passer l'eau à travers, autour ou au dessous du barrage.

Couronnement Haut d'un barrage en béton ou en maçonnerie.

Crue de projet Crue de calcul utilisée pour procéder au dimensionnement d'un barrage et ses ouvrages annexes tels que les évacuateur de crues t les organes de restitution, et pour déterminer la capacité maximum de stockage, la hauteur du barrage et les revanches nécessaires.

Crue Montée temporaire des eaux d'une rivière ou d'un fleuve suite à des pluies importantes dans le bassin versant. Cela entraîne l'inondation de zones habituellement hors d'eau.

D

Danger, menace Dans le langage usuel, le danger est ce qui menace ou compromet la sûreté, l'existence d'une personne ou d'une chose (Robert).

L'AFNOR le définit comme une source potentielle de dommages. Pour l'ISO, la menace est une cause potentielle d'un incident non désiré qui peut résulter dans des dommages à un système ou une organisation [ISO/IEC 13335-1:2004] [ISO/IEC 17799:2000].

Débit de pointe Débit maximum qui se produit pendant une crue ; il est exprimé en mètres cubes par seconde.

Dériver Faire aller dans une direction différente.

Dysfonctionnement Altération ou non remplissement d'une fonction.

E

Enjeux Personnes, biens, équipements, environnement menacés par le risque et susceptibles de subir des préjudices ou des dommages.

Erosion Usure progressive d'une surface, que ce soit une rive, un lit de cours d'eau, un remblai ou toute autre surface provoquée par l'écoulement de l'eau, les vagues des réservoirs, le vent ou tout autre processus naturel.

Évacuateur de crues Structure au-dessus de laquelle ou à travers laquelle le débit est libéré pendant les crues. Si le débit est contrôlé à l'aide de vannes par exemple, il s'agit d'un évacuateur vanné ; dans le cas contraire, il s'agit d'un évacuateur à seuil libre.

Événement Une réalisation à effet indésirable et d'un certain degré de signification.

F

Facteur de risque Un facteur de risque est une circonstance ou un environnement qui aggravera les risques liés à l'exécution d'une tâche donnée. Aux fins de la planification des activités, ces facteurs sont soit internes soit externes.

Flux de danger Événement non souhaité généré par une source de danger, pouvant agir sur un système cible.

Fonctions Capacité d'un système à réaliser un objectif

Fondations Partie du sol de la vallée qui sert de base et supporte la structure du barrage.

Fréquence Nombre d'événements précis au cours d'une période donnée.

G

Gravité La gravité est une évaluation des répercussions au cas où un risque précis se concrétiserait. Elle peut être :

- Critique – conséquences très graves; la situation doit être surveillée de près.
- Importante – conséquences graves; la situation doit être surveillée régulièrement.
- Minimale – conséquences négligeables; la situation ne nécessite qu'une surveillance minimale.

H

Hydrologie Science qui étudie la répartition dans le temps et dans l'espace des précipitations, des écoulements, des sécheresses, des crues...

I

Impact Faible, moyen ou fort, il représente la gravité relative de l'événement sur le projet.

Incertitude Une incertitude, c'est lorsque les probabilités associées à chaque résultat possible ne peuvent être prévues.

L

Longueur de la crête Longueur du sommet du barrage d'une rive à l'autre.

Longueur du barrage Longueur le long du haut du barrage.

M

Management des risques Activités coordonnées visant à diriger et piloter un organisme vis-à-vis du risque. Le management du risque inclut typiquement l'appréciation du risque, le traitement du risque, l'acceptation du risque et la communication relative au risque.

Météorologie Science des phénomènes atmosphériques et des variations du temps, des orages et des précipitations en particulier.

Méthode Programme réglant d'avance une suite d'opérations à accomplir et signalant certains événements à éviter, en vue d'atteindre un résultat déterminé.

O

Ouvrages annexes Autres équipements d'un aménagement hydraulique qui peuvent être la salle de commande, les conduites d'évacuation, les organes de restitution, les conduites forcées, la centrale hydroélectrique...

P

Pente Inclinaison par rapport à un plan horizontal ; un fruit mesure l'inclinaison par rapport à la verticale.

Pied du barrage Intersection du parement aval avec le terrain ; on parle aussi de pied aval. L'intersection avec le parement amont s'appelle talon ou pied amont.

Prise d'eau Située à l'entrée des organes de restitution, la prise d'eau fixe le niveau ultime de vidange du réservoir. Il peut s'agir de tours verticales ou inclinées, ou de structures immergées. Le niveau des prises est fixé les débits souhaités, en tenant compte de la sédimentation et du niveau souhaité de vidange.

Probabilité Une probabilité est la possibilité qu'un événement se produise. Aux fins de la planification d'activités, la probabilité peut être:

- Moyenne – il est peu probable que l'événement se produira au cours de l'année financière et possible qu'il se déroule durant la période de planification.
- Faible – il est peu probable que l'événement se produira au cours de l'année financière ou de la période de planification.
- Forte – il est fort possible que l'événement se produise au cours de l'année financière et presque certain qu'il aura lieu durant la période de planification.

Projet Un projet est une entreprise temporaire décidée dans le but de créer un résultat unique, produit ou service. (PMI-PMBOK)

R

Réaction alcali-agrégats (gonflement chimique) Le ciment contient toujours une certaine quantité d'alcalis (sodium et potassium). En leur présence, c'est minéraux réactifs génèrent un gel qui incorpore des quantités importantes d'eau dans la structure. Ce gel produit un gonflement local qui peut donner lieu à une fissuration.

Risque de projet Événement dont l'apparition n'est pas certaine et dont la manifestation est susceptible d'affecter les objectifs du projet [AFNOR - FD X50-117].

Risque Le risque est un concept quantitatif à deux dimensions :

- Probabilité d'occurrence (à priori) ou fréquence (à postériori) de l'événement non souhaité.
- La gravité de cet événement non souhaité.

Rupture ou défaillance C'est un événement sur un composant ou un système qui peut avoir une ou plusieurs des conséquences suivantes :

Perte de la fonction du composant ou du système.

Détérioration de la capacité fonctionnelle à un niveau tel que la sécurité est réduite de manière significative.

S

Scénario Une succession d'événements, chacun étant la conséquence de l'autre.

Séisme Mouvement ou tremblement soudain du sol provoqué par la libération de contraintes accumulées le long d'une faille de l'écorce terrestre.

Source de danger Un élément ou système pouvant générer un événement non souhaité sur un système cible.

Stabilité Condition d'une structure capable de supporter des forces et des pressions instantanées ou sur une longue durée sans connaître de déformation significative.

Système Un ensemble d'éléments en interaction formant un tout intégré, avec un objectif commun.

V

Vanne barrière mobile qui permet de contrôler les débits d'eau.

Vidange de fond Organe de restitution en bas du réservoir habituellement utilisé pour vider la retenue ou évacuer les sédiments et parfois pour permettre l'irrigation.

Volume du barrage Volume total de la structure du barrage du niveau de fondation à la crête du barrage et de l'appui droit à l'appui gauche.

Volume du réservoir Volume d'eau retenu et stocké par le barrage.

Volume mort Tranche d'eau située sous la prise d'eau la plus basse et qui ne peut donc pas être évacuée du réservoir sauf par pompage.

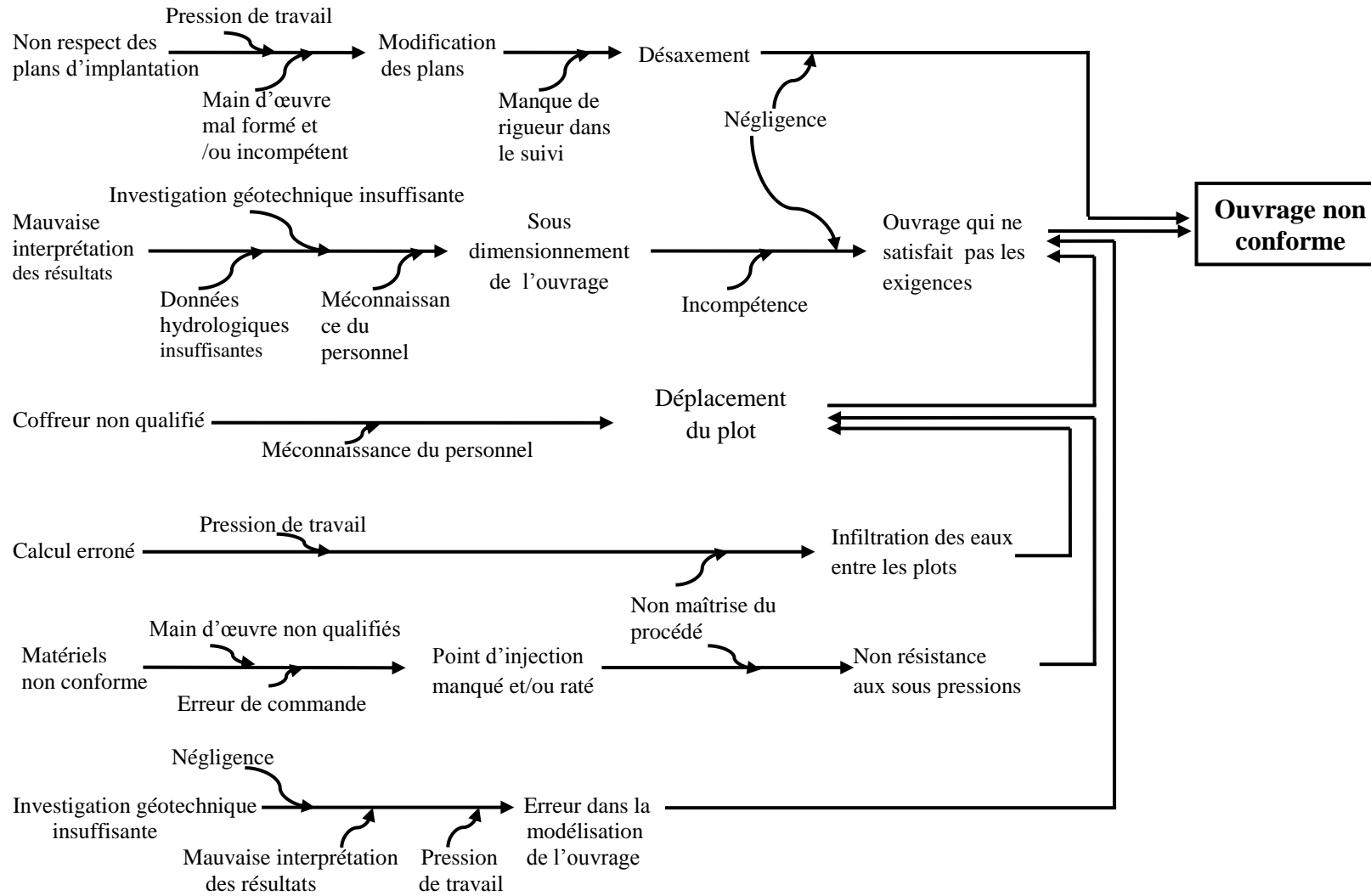
Volume utile Volume du réservoir qui est disponible pour des usages comme la production d'énergie, l'irrigation, le contrôle des crues, l'alimentation en eau... Le niveau le plus bas de la retenue est le niveau minimal d'exploitation. Le niveau le plus haut est le niveau de retenue normal.

Vulnérabilité Mesure des conséquences dommageables de l'événement, sur les enjeux en présence.

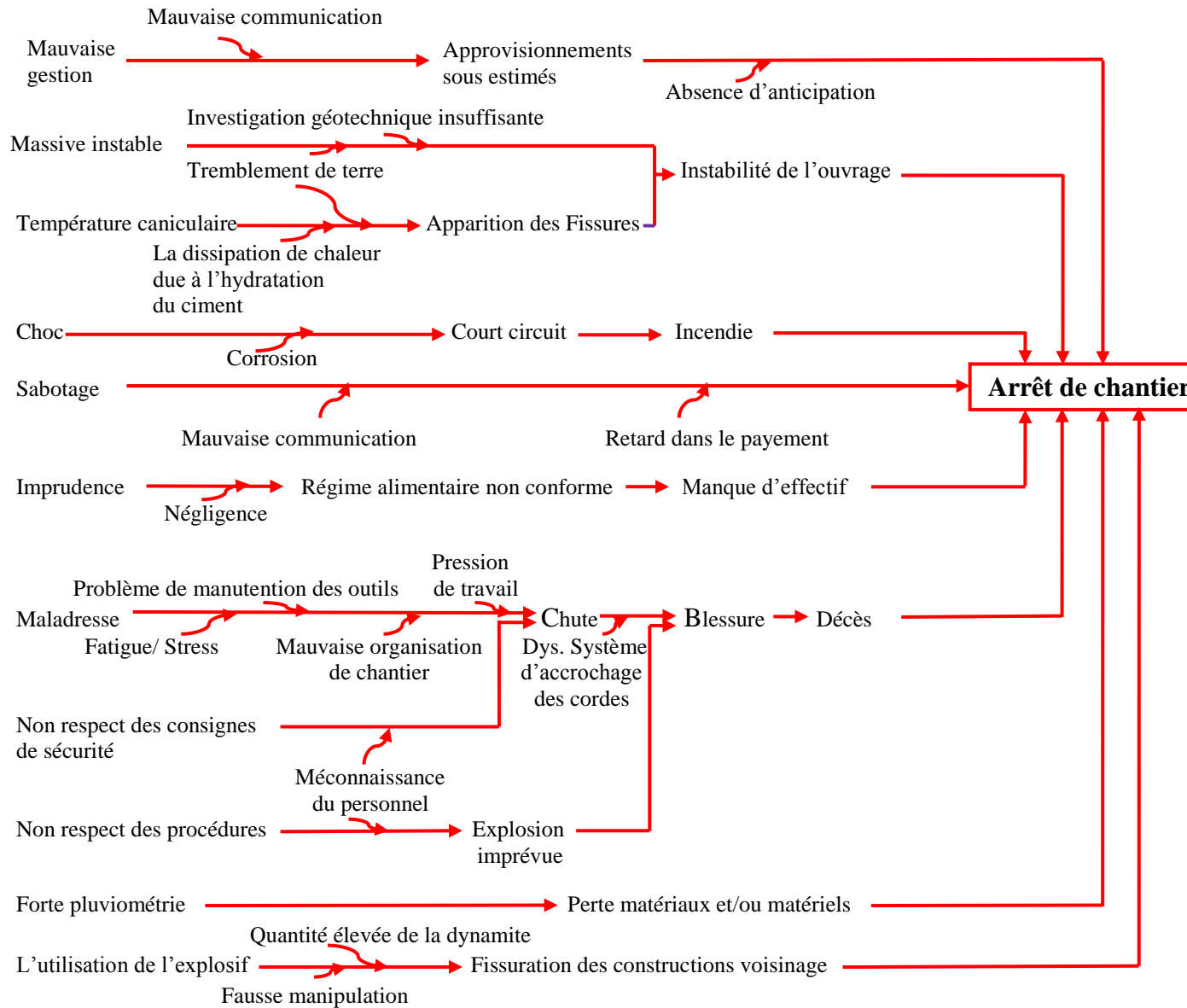
Z

Zone inondable Terres voisines d'une retenue ou d'un cours d'eau qui peuvent être recouvertes d'eau. Ce terme est également utilisé pour décrire la zone en aval qui serait inondée ou affecté par des crues importantes, voire en cas de rupture du barrage.

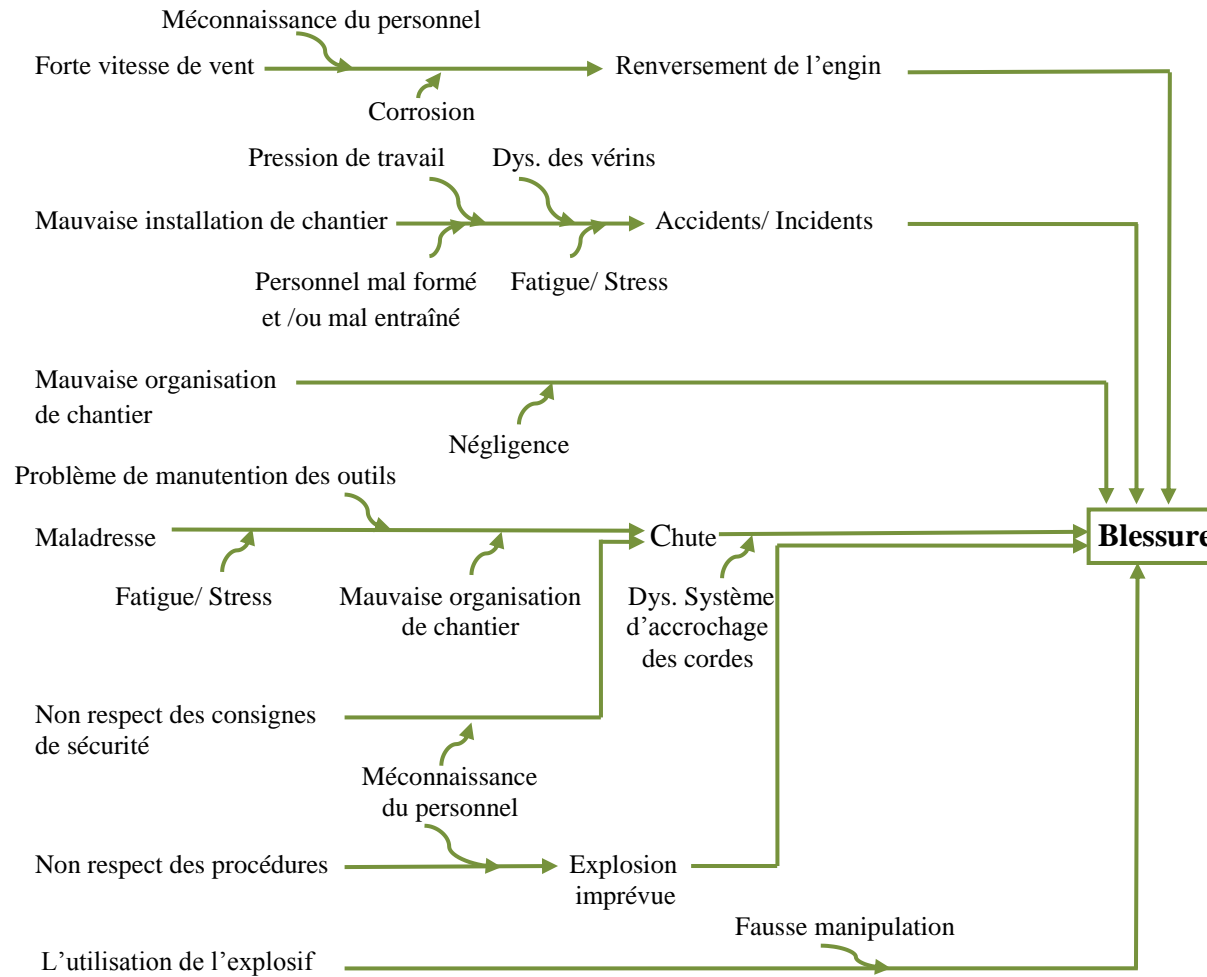
SCENARIO LONG 1



SCENARIO LONG 2



SCENARIO LONG 3



1. CADRAGE DE PROJET

<p>ENONCE Titre du projet ou les mots clés doivent apparaître</p>	<p>Management des risques dans les projets de barrage par la méthode MADS-MOSAR : « cas de barrage voûte mince d’oued Taht Wilaya de Mascara »</p>
<p>IDEE / BESOIN Facteur déclencheur du projet</p>	<p>Finir l’année avec un mémoire de fin d’étude pour avoir le diplôme de Master</p>
<p>OBJECTIFS Décrire en quelques mots la finalité du projet</p>	<p>Réaliser un projet de fin d’étude qui répond aux exigences scientifiques (claire, lisible, simple, rationnel, logique...etc.) et le soutenir devant le jury</p>
<p>COUTS</p>	<p>20.000,00 DA</p>
<p>DELAIS</p>	<p>4 mois</p>
<p>CARACTERISTIQUES ESSENTIELLES DU CAS</p>	<p>Notre PFE est une recherche appliquée sur un cas concret Détail sur le cas :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Maître d’ouvrage : l’agence nationale des barrages et de transferts « ANBT » • Les bureaux d’études : groupement de bureaux d’études algéro-espagnol Euroestudios (Espagne) et <i>CTH</i> (Algérie) • Entreprise de réalisation: <i>SEROR</i> • Délais : 30 mois • Date de début des travaux : juin 2012 • Coûts : 200 milliards de centimes • Stockage : 7million de mètres cubes • Les travaux enregistrent un taux d’avancement de 32%(jusqu’à la fin de janvier 2014)

FAISABILITE TECHNIQUE DU PROJET	<ul style="list-style-type: none"> • Les pré requis dans notre formation sur les barrages et l'analyse des risques • La disponibilité et la qualification de nos encadreurs • L'engagement de chef de projet
STAKEHOLDERS	<ul style="list-style-type: none"> • Le binôme : ACHOUI Mohammed Amin et BENSMAIN Newfel • Les encadreurs : M^r ALLAL .A et M^r HAMZAOUI .F • Le doyen : M^r MEGNOUNIF.A • Le chef du département : M^r BENYELES.Z • SEROR représenter par M^r BARKAT (chef de projet)
CONTEXTE POLITIQUE ET STRATEGIE	SWOT Analysis (<i>ci-joint</i>)
FAISABILITE ECONOMIQUE	50% du Financement assuré par nous-même et 50% assurée par nos parents.
ETUDE D'IMPACT	Apprentissage et amélioration continue Apporté un plus à la bibliothèque de la faculté pour faciliter la recherche dans le futur
PRINCIPAUX RISQUES	<ul style="list-style-type: none"> A. Les événements dus au déplacement pour le stage B. Les absences de l'encadreur C. Maladie des différentes parties prenantes D. Démotivation E. Mauvaise communication entre les différentes parties prenantes

2. MATRICE DES PRIORITES :

	Coûts	Délais	Contenu
Contraintes		X	X
Acceptable	X		
A améliorer			

3. L'ANALYSE SWOT :

STRENGTHS	WEAKNESSES
<ul style="list-style-type: none">• La motivation et la disponibilité du binôme.• L'engagement et la disponibilité de nos encadreurs.• Les prés requis dans notre formation.• Compétence de nos encadreurs.• On travaille dans notre PFE en mode projet.• Bonne relation entre les parties prenantes.	<ul style="list-style-type: none">• La première fois qu'on travaille sur un projet de telle ampleur.• Une faible maîtrise de la langue anglaise car il y a beaucoup de documentation par cette dernière.
OPPORTUNITES	THREATS
<ul style="list-style-type: none">• Le projet peut ouvrir la voie sur d'autres projets avenir.• Le projet de barrage se réalise au même temps qu'on fait notre PFE.• L'engagement de SEROR pour un stage pratique.• L'accueil et l'acceptation du chef du projet M^r BARKAT.• Inscription sur SNDL est gratuite pour les étudiants de master 2	<ul style="list-style-type: none">• Le délai est trop court.• Arrêt SNDL.• Une grève inopinée.• L'entreprise de la réalisation SEROR fait faillite.• L'arrêt temporel des travaux de réalisation.

4. Matrice D'analyse Des Risques :

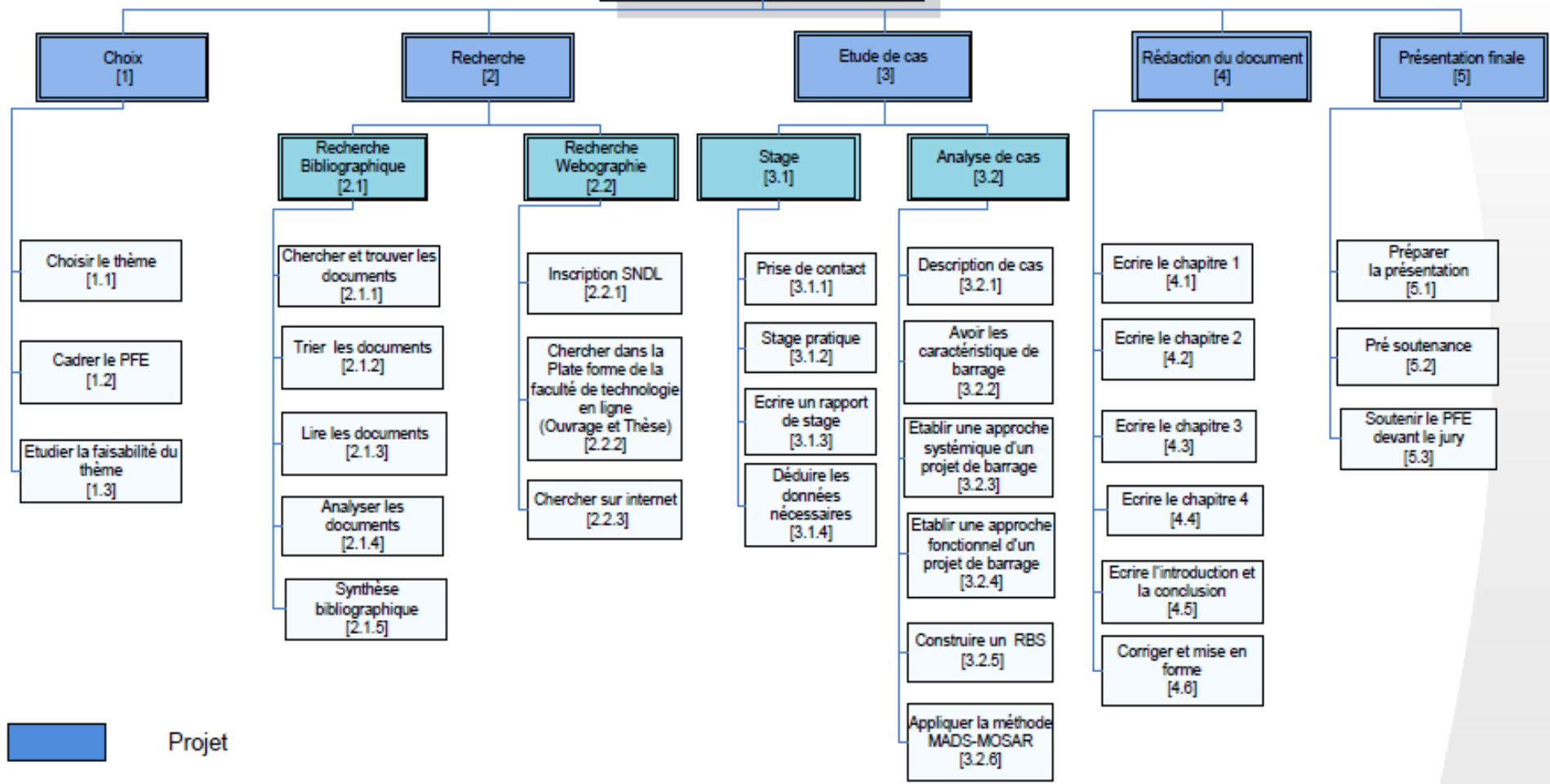
Projet : PFE sur le Management des risques dans les projets de barrage par la méthode MADS-MOSAR : « cas de barrage voûte mince d'oued Taht Wilaya de Mascara »						Date : Fév 2014
Evènement a risque	Aléa	Impact	Action à entreprendre			Responsables
			Préventives	Stratégies de réponse	Plan de substitution	
A. Les événements dus au déplacement pour le stage	3	3	*Prendre des précautions de sécurité sur la route	accepter	Trouver un hébergement près du chantier.	Le binôme
B. Les absences de l'encadreur	4	3	*Tenir en compte ces absences	transférer	Consulté le 2 ^{ème} encadreur	les encadreurs
C. Maladie des différentes parties prenantes	2	3	*Prendre en compte	accepter	Patienter	Les parties prenantes
D. Démotivation	3	4	* être bien organiser et à jour	Refuser	Travailler en monôme	Le binôme
E. Mauvaise communication entre les différentes parties prenantes.	3	2	*Etablir en commun un plan de Communication efficace dans l'équipe.	accepter	Utiliser les courriels	Les parties prenantes

5. Matrice De Gravite :

Aléa/probabilité d'occurrence	>90%	Quasiment certain	5					
	50-90%	Probable	4			B		
	30-50%	Possible	3			A	D	
	10-30%	Peu probable	2		E	C		
	<10%	Rare	1					
			1 Non significatif	2 Mineur	3 Modéré	4 Majeur	5 Très significatif	
Impact /vulnérabilité								

	Zones des risques critiques		Zones des risques majeurs		Zones des risques modérés		Zones des risques mineurs
--	-----------------------------	--	---------------------------	--	---------------------------	--	---------------------------

Management des risques dans les projets de barrages par la méthode MADS-MOSAR: cas du barrage voûte mince oued Taht (Wilaya de Mascara)



- Projet
- Livrables
- Sous-livrables
- Tâches

N°	Nom de la tâche	Durée	Début	01 Novembre		01 Janvier		01 Mars		01 Mai		01 Juillet	
				27/10	24/11	22/12	19/01	16/02	16/03	13/04	11/05	08/06	06/07
1	Séquencement PFE 2014	119 jours?	07/01/14										
2	Choix	13 jours	07/01/14										
3	Choisir le thème	3 jours	07/01/14										
4	Cadrer le PFE	10 jours	12/01/14										
5	Etudier la faisabilité du thème	3 jours	12/01/14										
6	Recherche	96 jours?	07/01/14										
7	Recherche bibliographique	90 jours	15/01/14										
8	Chercher et trouver les documents	90 jours	15/01/14										
9	Trier les documents	3 jours	22/01/14										
10	Lire les documents	5 jours	27/01/14										
11	Analyser les documents	5 jours	03/02/14										
12	Synthèse bibliographique	5 jours	10/02/14										
13	Recherche webographie	11 jours?	07/01/14										
14	Inscription SNDL	1 jour?	07/01/14										
15	Chercher dans la plate-forme de la faculté	5 jours	15/01/14										
16	Chercher sur internet	5 jours	15/01/14										
17	Etude de cas	43 jours	17/02/14										
18	Stage	11 jours	17/02/14										
19	Prise de contact	1 jour	17/02/14										
20	Stage pratique	5 jours	18/02/14										
21	Ecrire un rapport de stage	2 jours	25/02/14										

Projet : planning PFE 2014 v1.6 Date : 04/06/14	Tâche		Tâche manuelle		Échéance	
	Fractionnement		Durée uniquement		Critique	
	Jalon		Report récapitulatif manuel		Fractionnement critique	
	Récapitulative		Récapitulatif manuel		Avancement	
	Récapitulatif du projet		Début uniquement		Progression manuelle	
	Tâche inactive		Fin uniquement		Marge	
	Jalon inactif		Tâches externes			
	Récapitulatif inactif		Jalons externes			

N°	Nom de la tâche	Durée	Début	01 Novembre		01 Janvier		01 Mars		01 Mai		01 Juillet	
				27/10	24/11	22/12	19/01	16/02	16/03	13/04	11/05	08/06	06/07
22	Déduire les données nécessaire	5 jours	25/02/14										
23	Analyse de cas	32 jours	04/03/14										
24	Description de cas	7 jours	04/03/14										
25	Avoir les caractéristiques de barrage	1 jour	04/03/14										
26	Etablir une approche systémique du projet de	8 jours	05/03/14										
27	Etablir une approche fonctionnel du projet de	8 jours	17/03/14										
28	Construire un RBS	5 jours	27/03/14										
29	Appliquer la méthode MADS-MOSAR	10 jours	03/04/14										
30	Rédaction de document	72 jours	03/03/14										
31	Ecrire le chapitre 1	15 jours	03/03/14										
32	Ecrire le chapitre 2	15 jours	23/03/14										
33	Ecrire le chapitre 3	15 jours	13/04/14										
34	Ecrire le chapitre 4	20 jours	17/04/14										
35	Ecrire l'introduction et la conclusion	4 jours	15/05/14										
36	Corriger et mise en forme	11 jours	21/05/14										
37	Imprimer le mémoire	3 jours	05/06/14										
38	dépôser le mémoire	1 jour	10/06/14										
39	Présentation final	12 jours	05/06/14										
40	Préparer la présentation	9 jours	05/06/14										
41	Pré-soutenance	2 jours	18/06/14										
42	Soutenir le PFE devant le jury	1 jour	22/06/14										

Projet : planning PFE 2014 v1.6 Date : 04/06/14	Tâche		Tâche manuelle		Échéance	
	Fractionnement		Durée uniquement		Critique	
	Jalon		Report récapitulatif manuel		Fractionnement critique	
	Récapitulative		Récapitulatif manuel		Avancement	
	Récapitulatif du projet		Début uniquement		Progression manuelle	
	Tâche inactive		Fin uniquement		Marge	
	Jalon inactif		Tâches externes			
	Récapitulatif inactif		Jalons externes			

RESUME

Les risques, en général, existent dans n'importe quel projet ; on ne peut guère réaliser un projet sans prendre de risques. Les barrages sont des projets assez complexes dans leur conception, leur réalisation et leur exploitation, et sont souvent soumis à des risques multiples pouvant altérer leur bon fonctionnement et/ou impacter négativement leur environnement. Le présent mémoire d'initiation à la recherche se focalise sur le management des risques dans les projets de barrages, avec une mise en œuvre d'outils et de méthodes spécifiques de maîtrise des risques. Dans ce travail, nous avons défini ce qu'est un barrage, en y présentant les différents types de barrages qui peuvent exister, leurs avantages, une classification, et la politique en matière d'eaux en Algérie. Par la suite, nous présentons un panorama sur les principaux risques associés aux barrages déjà survenus dans le monde. Lesquels sont synthétisés. Une revue bibliographique des principaux outils d'analyse des risques aussi que la norme ISO 31000 sont présentées en vue d'être valorisés certains pour la suite du travail. Après avoir passé en revue ces généralités, nous présenterons notre cas d'étude : « Le projet de barrage en voûte mince de Oued Taht, Wilaya de Mascara », avec les documents de base pour l'élaboration d'un projet de barrage. La partie la plus originale de ce travail sera d'appliquer la méthode de maîtrise des risques MADS-MOSAR à notre cas d'étude, en faisant appel à une analyse systémique et une autre fonctionnelle.

Mots clés : barrage – risque – rupture – management – ISO 31000 – analyse systémique – analyse fonctionnelle – MADS-MOSAR.

ABSTRACT

Risks, in general, exist in any project; and hardly ever can one carry out a project without taking risks. Dams are rather complex projects in their design, their construction and their operation, and are often subjected to multiple risks which can alter their good performance and impact negatively their environment. This presentation of initiation to research is focused on risk management in the projects of dams, with an implementation of specific tools and methods for the control of the risks. In this work, we shall define what a dam is, while presenting the various types of dams which can exist, their benefits, a classification and the policy managing water in Algeria. Thus we shall provide a profile of the main risks associated with dams, risks which can cause a dam failure, with examples having already taken place in the world; besides an overview of the analysis tools of risks and the Standard ISO 31000. Once such general information exposed, we shall present our case study: "The Project of a Thin Arch Dam in Oued Taht, Wilaya of Mascara" with the basic background documents for a dam project development. The most original part of this work will be to apply the method of control of risks MADS-MOSAR to our case study by using a systemic analysis and another functional one. The objective of this work is to put into action various barriers so as to decrease the criticality of the undesirable events.

Keywords: dam – risk – dam failure – management – ISO 31000 – systemic analysis – functional analysis – MADS-MOSAR.

ملخص

هذا العمل جزء لا يتجزأ من باقي البحوث الخاصة "بمناجنت الأخطار"، مع العلم أن هناك أخطار في أي مشروع. والسدود مشاريع معقدة جدا في تصميمها وتنفيذها واستعمالها. ففي اغلب الأحيان قد تكون عرضة لأخطار متعددة؛ فإما قد تؤثر على أدائها وإما تنعكس سلبيا على البيئة المحيطة. فلهدا لا نستطيع انجاز أي مشروع دون أخذ الخطر بعين الاعتبار. ركزنا في هذه المذكرة على مناجنت الأخطار في مشاريع السدود، مع تطبيق أدوات وأساليب محددة للسيطرة على المخاطر. في هذا العمل سنعرف السد ونقوم بعرض مختلف أنواعه ومزاياها لموجودة. ولانحة تصنيف وسياسة المياه في الجزائر. ولمحة عامة عن الأخطار الرئيسية المرتبطة بالسدود والتي يمكن أن تسبب انهيار السد، مع أمثلة قد حدثت في مختلف أنحاء العالم، نظرة عامة عن أساليب تحليل الأخطار طبقا للمرجع ISO31000. بعد استعراض هذه العموميات سوف نقوم بوصف مشروع "سد واد تحت ولاية معسكر" مع مختلف القواعد الأساسية لإنجاز مشاريع السدود. الجزء الأكثر أصلي في هذا العمل هو تطبيق طريقة MADS-MOSAR للسيطرة على الأخطار في مشروع "سد واد تحت" مستعنيين بتحليل منهجي نظامي وأخر وظيفي. الهدف من هذا العمل هو استنباط مختلف الحواجز التي بإمكانها التقليل من مدى أهمية الحوادث الغير مرغوب فيها.

الكلمات المحورية: السد-الأخطار - انهيار- مناجنت- تحليل نظامي- تحليل وظيفي- ISO 31000- MADS-MOSAR.