



Compagnie Nationale du Rhône

Direction du Patrimoine Fluvial et Industriel, Direction Déléguée des Concessions et du Patrimoine

Digue de Vallabrègues PK246.9 RD

Étude de dangers simplifiée de l'ouvrage

 Compagnie Nationale du Rhône L'ÉNERGIE À L'ÉTAT PUR © 2, rue André Bonin 69316 Lyon cedex 04	☎ 04.72.00.68.71	Fax 04.72.10.66.72
	E.Mail di-sfa@cnr.tm.fr	Web http://www.cnr.tm.fr
	I.00303.003 DI-SFA 12-152cc	Date : Juillet 2013
Niveau de confidentialité	<input type="checkbox"/> Confidentiel	<input checked="" type="checkbox"/> Interne <input type="checkbox"/> Public

Digue de Vallabrègues PK246.9 RD

Étude de dangers simplifiée de l'ouvrage

I.00303.003 – DI-SFA 12-152c

Client	Direction du Patrimoine Fluvial et Industriel, Direction Déléguée des Concessions et du Patrimoine 2 rue André Bonin, 69316 Lyon cedex 04
Interlocuteur	Y. TARAVEL - N. PERRIN
Références du contrat	x

Unité réalisatrice	Compagnie Nationale du Rhône Direction de l'Ingénierie, département Systèmes Fluviaux et Aléas climatiques 2 rue André Bonin, 69316 Lyon cedex 04
---------------------------	--

Contrôle qualité :

	Date	Nom	Signature
Réalisation	16/07/2013	C. WIRZ (version a) N. PERRIN (versions b et c)	
Vérification	16/07/2013	J. DE SAINT SEINE	
Approbation	16/07/2013	J. DE SAINT SEINE	

Historique du document :

Indice	Date	Désignation de la révision
-	22/03/2012	Création
a	19/06/2013	Prise en compte des remarques DPFI-DDCP
b	28/03/2013	Prise en compte des remarques DPFI-DDCP
c	16/07/2013	Prise en compte des remarques du comité de validation EDD

Sommaire

1. CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE	5
2. DESCRIPTION DE L'OUVRAGE, DE SON ENVIRONNEMENT ET DES DESORDRES CONSTATES	6
2.1. Description de l'ouvrage	6
2.2. Désordres constatés.....	7
2.3. Analyse fonctionnelle de l'ouvrage.....	8
2.3.1. Analyse fonctionnelle externe des digues.....	8
2.4. Description de l'environnement de l'ouvrage.....	9
2.4.1. Description des enjeux	9
2.4.2. Description des sources d'agression	10
3. IDENTIFICATION ET CARACTERISATION DES POTENTIELS DE DANGERS	11
3.1. Identification et caractérisation des potentiels de dangers liés à l'ouvrage.....	11
3.2. Identification et caractérisation des potentiels de dangers externes.....	11
4. IDENTIFICATION ET CARACTERISATION DES RISQUES EN TERME DE PROBABILITE D'OCCURRENCE, D'INTENSITE ET DE CINETIQUE DES EFFETS, ET DE GRAVITE DES CONSEQUENCES.....	13
4.1. Présentation de la méthode	13
4.2. Analyse de risques	14
5. ÉTUDE DE REDUCTION DES RISQUES.....	18
6. CONCLUSION.....	18
7. ANNEXES	19
7.1. Méthode APR	19
7.2. Méthode ANP	20
7.3. Analyse Préliminaire des Risques.....	21
7.4. Analyse en Nœud Papillon	23

Figure

Figure 1 : Localisation de l'ouvrage	6
Figure 2 : Analyse fonctionnelle externe des digues	8
Figure 3 : Cartographie des enjeux identifiés dans le périmètre d'étude – extrait de la carte de l'étude de dangers des digues de l'aménagement de Vallabrègues	10
Figure 4 : Analyse en nœud papillon des scénarios d'accidents liés à la rupture de digue par un phénomène autre que la surverse	23

Tableau

Tableau 1 : Identification et caractérisation des potentiels de dangers liés à l'ouvrage permettant la libération de tout ou partie de l'eau	11
Tableau 2 : Échelle de probabilité	13
Tableau 3 : Échelle de gravité	13
Tableau 4 : Grille de criticité	14
Tableau 5 : Situations dangereuses redoutées sur la digue au PK246.9 RD de l'aménagement de Vallabrègues	15
Tableau 6 : Barrières de sécurité pour les deux scénarios identifiés.....	16
Tableau 7 : Tableau type APR.....	19
Tableau 8 : Représentation graphique du nœud papillon	20
Tableau 9 : Tableau APR de la digue RD entre le PK246.5 et PK247.0 de l'aménagement de Vallabrègues	22

1. CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE

Dans le cadre du projet de confortement de la digue rive droite de la retenue de Vallabrègues au droit du PK246.9, la DREAL Languedoc-Roussillon a demandé, après examen du dossier d'avant-projet, de joindre à la demande d'autorisation de travaux (au titre des articles 21 à 28 et 33 du décret du 13 octobre 1994) une note présentant la caractérisation des potentiels de danger et une analyse des risques, accompagnée de la proposition de réduction des risques.

L'étude de dangers de l'ouvrage a pour objectif d'identifier et d'évaluer les risques que peut occasionner l'ouvrage sur son environnement.

Compte tenu de la réalisation en 2011 de l'étude de dangers de l'endiguement de Vallabrègues considéré comme un barrage latéral, la présente note a pour objectif de montrer que les travaux envisagés ne conduisent pas à des scénarios plus défavorables que ceux actuellement identifiés et que ces travaux conduiront à substituer à la barrière de sécurité que constitue la surveillance renforcée sur ce secteur une autre barrière de sécurité constituée par la résistance intrinsèque de la digue qui sera accrue.

La présente note comprend donc :

- 1) la description du linéaire de digue que l'on prévoit de conforter et des désordres constatés, l'analyse fonctionnelle de l'ouvrage et la description de son environnement ;
- 2) l'identification et la caractérisation des potentiels de danger liés au linéaire de digue que l'on prévoit de conforter ainsi que les potentiels de dangers externes ;
- 3) l'identification et la caractérisation des risques en termes de probabilité d'occurrence, d'intensité et de cinétique de leurs effets, et de gravité de leurs conséquences ;
- 4) l'étude de réduction des risques avec une description succincte du projet de confortement de la digue.

Cette note s'appuie sur le rapport de l'*Étude de dangers des digues de l'aménagement de Vallabrègues* réalisé en 2011 (réf. DI-SFA 2011-316).

2. DESCRIPTION DE L'OUVRAGE, DE SON ENVIRONNEMENT ET DES DESORDRES CONSTATES

2.1. Description de l'ouvrage

Le linéaire concerné est le tronçon de digue en rive droite de la retenue de l'aménagement de Vallabrègues, s'étendant du PK246.5 jusqu'à l'aqueduc des Issarts.

L'image ci-dessous permet de localiser l'ouvrage :

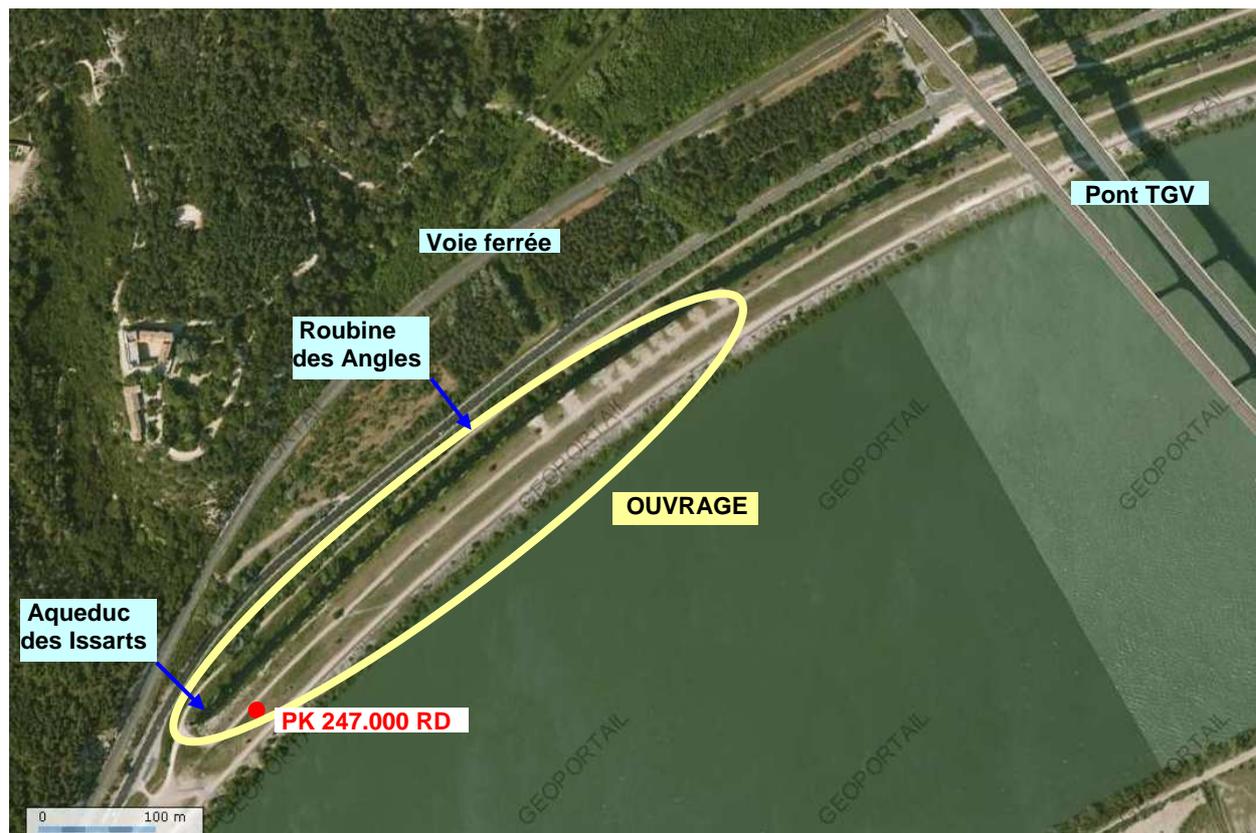


Figure 1 : Localisation de l'ouvrage

La digue est un ouvrage mixte graviers limons. Elle est surmontée d'un cavalier (cote 21mNGFO) et d'une piste utilisée par l'exploitant. Le talus aval (coté plaine) a une pente de 3H/1V et comporte une risberme en mi-talus (cote 16.5mNGFO) d'une largeur de 5 m. En pied de digue entre les PK246.870 et PK247.000, une butée de pied d'une largeur de 3 m (cote 14mNGFO), en enrochements 10/300kg, a été mise en place en 2002.

La digue est équipée d'un contre-canal pour le drainage des eaux de percolation. Le contre-canal reçoit 2 rejets d'EP distincts en amont du seuil situé au PK245.5, puis 2 rejets d'EP et la roubine des Angles (2 buses de diamètre 1400mm) en aval de ce même seuil. Seule la roubine des Angles fait partie de la zone d'étude (entre les PK246.600 et PK246.650).

Le contre-canal se poursuit en souterrain par l'aqueduc des Issarts qui permet de franchir l'éperon rocheux fermant la plaine des Angles.

2.2. Désordres constatés

Depuis 1995, une zone d'incident a été localisée sur la digue en rive droite de la retenue de Vallabrègues entre les PK 246.5 et 247.0.

L'incident se matérialise principalement par des charges d'eau élevées dans le corps de digue et par l'apparition de fuites dans le talus aval.

Des actions ont été menées en urgence entre 2002 et 2003. Une recharge en pied de digue par enrochements ainsi que des forages de décompression ont alors été mis en place.

En 2006 des forages de décompression supplémentaires ont été réalisés.

Les niveaux actuels de stabilité au glissement en conditions normales et en phase de crue sont situés en dessous des critères requis. De plus les matériaux rencontrés au droit de la digue possèdent de mauvaises caractéristiques mécaniques. Un phénomène d'érosion interne est initié.

2.3. Analyse fonctionnelle de l'ouvrage

L'analyse fonctionnelle doit permettre de mieux comprendre les relations existantes entre les différents composants de l'ouvrage afin de déceler les répercussions de leurs défaillances sur le fonctionnement général de l'ouvrage et de son environnement.

Le principe de l'analyse fonctionnelle repose sur la décomposition du système selon les fonctions qu'il assure. Elle établit de façon systématique et exhaustive les relations fonctionnelles à l'intérieur et à l'extérieur d'un système.

L'arborescence technique, identifiée dans cette analyse fonctionnelle, sera ensuite exploitée, de façon systématique, dans l'Analyse Préliminaire des Risques.

L'analyse fonctionnelle externe de l'ouvrage est présentée ci-après. Elle est issue de l'*Étude de dangers des digues de l'aménagement de Vallabrègues*.

2.3.1. Analyse fonctionnelle externe des digues

Le but de cette méthode d'analyse est de représenter l'interaction des ouvrages avec les éléments extérieurs. Cette analyse permet de déterminer les Fonctions Principales (FP) et les Fonctions de Contraintes (FC) des ouvrages vis à vis des éléments du milieu extérieur.

L'analyse fonctionnelle externe pour l'ensemble des digues de l'aménagement de Vallabrègues est présentée sur le schéma suivant :

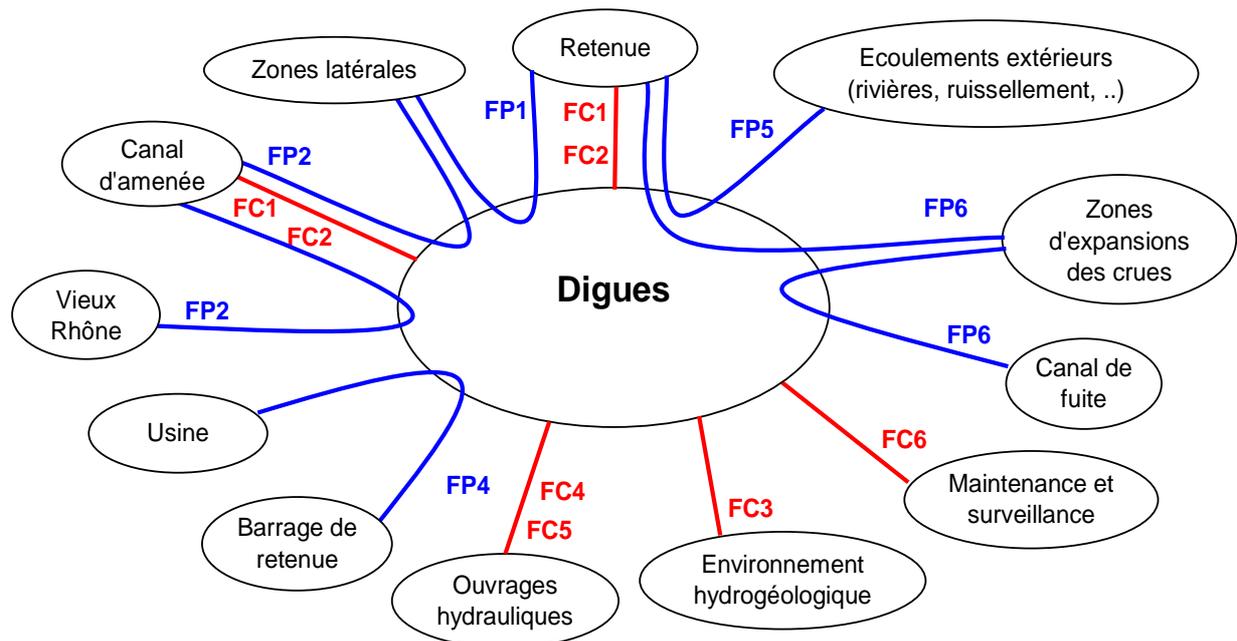


Figure 2 : Analyse fonctionnelle externe des digues

Les fonctions principales (FP) et les fonctions de contraintes (FC) sont détaillées ci-dessous. Celles mentionnées en gras concernent le tronçon de digue objet de la présente étude, (PK246.9 RD) :

FP1 Les digues constituent un barrage entre le volume d'eau de la retenue et les zones latérales

FP2 Les digues constituent un barrage entre le canal d'amenée et les zones latérales ou le Vieux Rhône

FP3 Les digues du canal de fuite assure la protection du canal de fuite vis-a-vis des crues du Rhône

FP4 Les digues assurent la liaison des réseaux de communication entre les différents ouvrages des aménagements

FP5 Les digues rétablissent les écoulements extérieurs (bassins versants, rejets...)

FP6 Les digues assurent une liaison avec les zones d'expansion des crues via des ouvrages particuliers

FC1 Les digues assurent le maintien du niveau d'eau de la retenue et du canal d'amenée

FC2 Les digues résistent aux pressions de l'eau

FC3 Les digues sont solidaires de l'environnement hydrogéologique

FC4 Les digues supportent des ouvrages hydrauliques traversants (siphons, aqueducs, drains...)

FC5 Les digues supportent les ouvrages hydrauliques déversants

FC6 Les digues sont maintenues et surveillées

2.4. Description de l'environnement de l'ouvrage

Cette description a pour objectif d'identifier les enjeux exposés aux dangers potentiellement générés par l'ouvrage (ici digue PK246.9 RD) puis les sources potentielles d'agression externes pouvant impacter ce même ouvrage.

2.4.1. Description des enjeux

Les enjeux vulnérables exposés aux dangers potentiellement générés par l'ouvrage sont les suivants :

- les populations,
- les enjeux stratégiques (ICPE, IMBE, voies de circulation, canalisations),
- les équipements publics,
- l'ensemble des biens, qu'ils soient à usage d'habitation ou d'activités diverses (industrielles, commerciales, artisanales, agricoles...).

La figure ci-après présente le nombre de personnes présentes dans la zone d'étude :

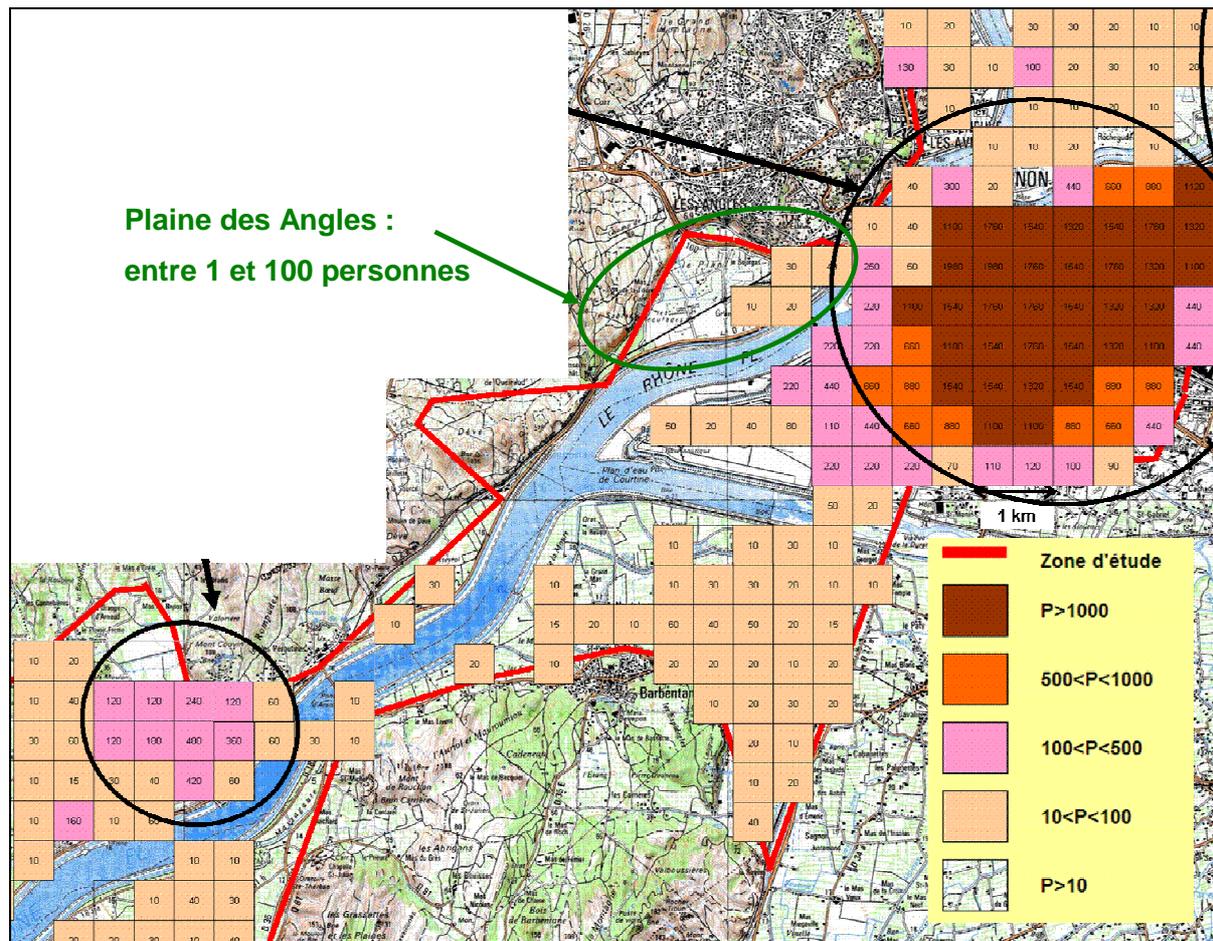


Figure 3 : Cartographie des enjeux identifiés dans le périmètre d'étude – extrait de la carte de l'étude de dangers des digues de l'aménagement de Vallabrègues

La zone d'étude compte environ 100 personnes potentiellement exposées.

Elle comprend également :

- Deux axes de circulations (RN100 et D2),
- Deux voies ferroviaires (ligne régionale Bagnols-sur-Cèze-Avignon-Nîmes et LGV Méditerranée).

Ces axes de communication pourraient également être impactés en cas de rupture de la digue.

2.4.2. Description des sources d'agression

Les agresseurs potentiels pouvant impacter les digues sont les suivants :

- Site SEVESO,
- Installation Nucléaire de Base (INB),
- Canalisation de matières dangereuses traversant l'ouvrage.

La digue, objet de la présente note, n'est concernée par aucun de ces scénarios. En effet, aucun site SEVESO ou INB n'est situé à proximité de la digue et aucun ouvrage ne traverse le corps de digue.

3. IDENTIFICATION ET CARACTERISATION DES POTENTIELS DE DANGERS

La caractérisation des potentiels de dangers est essentiellement liée au risque de libération de tout ou partie de l'eau de la retenue.

Dans un premier temps sont identifiés et caractérisés les potentiels de dangers liés à la digue PK246.9 RD et à ses composants susceptibles de permettre la libération de tout ou partie de l'eau de la retenue, ainsi que les situations dangereuses pouvant provoquer cette libération. Dans un second temps, sont identifiés et caractérisés les potentiels de dangers externes, c'est-à-dire non liés à la digue PK246.9 RD.

3.1. Identification et caractérisation des potentiels de dangers liés à l'ouvrage

Le tableau suivant liste les différents composants susceptibles de permettre la libération de tout ou partie de l'eau de la retenue suite à différentes situations dangereuses identifiées dans ce même tableau :

Nom de l'ouvrage	Composants (susceptibles de permettre la libération de tout ou partie de l'eau)	Situation dangereuse	PK
Digue PK246.9 RD	Section de digue (barrage en remblai)	Rupture (totale ou partielle) de la digue par érosion	PK246.5 au PK247.0
		Rupture de la digue par surcharge hydraulique (au droit de certaines zones d'incident)	
		Surverse en cas d'élévation non contrôlée de la retenue	

Tableau 1 : Identification et caractérisation des potentiels de dangers liés à l'ouvrage permettant la libération de tout ou partie de l'eau

3.2. Identification et caractérisation des potentiels de dangers externes

Les potentiels de dangers externes identifiés dans l'étude des dangers des digues de l'aménagement de Vallabrègues susceptibles d'endommager suffisamment les ouvrages ou de perturber leur bon fonctionnement au point de provoquer la libération de tout ou partie de l'eau de la retenue sont liés :

- à des scénarios de rupture d'un ouvrage traversant (STEP, prise d'eau,..)
- au scénario d'érosion externe du parement aval des digues liée à une crue d'affluent rétabli par le contre-canal ;
- à des scénarios d'explosion pouvant impacter les ouvrages de l'aménagement de Vallabrègues ;
- aux dysfonctionnements du barrage et/ou de l'usine de Vallabrègues pouvant provoquer un exhaussement du niveau de la retenue.

La digue, objet de la présente note, n'est concernée par aucun de ces scénarios.

- 1^{er} scénario : le tronçon de digue compris entre les PK246.5 et PK247.0 ne comporte pas d'ouvrage traversant le corps de digue.
- 2^{ème} scénario : le contre-canal comporte uniquement les deux buses de la roubine des Angles dont le débit ne suffit pas à engendrer une érosion du talus aval de la digue. Par ailleurs, les mesures de réduction de risques qui seront mises en œuvre (cf § 5) amélioreront la stabilité de la digue et donc diminueront encore le risque de rupture.
- 3^{ème} scénario : Aucun site SEVESO n'est situé à proximité de la digue.
- 4^{ème} scénario : la digue étant située bien à l'amont de l'aménagement, elle est très peu impactée par un dysfonctionnement qui pourrait se produire à l'usine et/ou au barrage de Vallabrègues.

4. IDENTIFICATION ET CARACTERISATION DES RISQUES EN TERME DE PROBABILITE D'OCCURRENCE, D'INTENSITE ET DE CINETIQUE DES EFFETS, ET DE GRAVITE DES CONSEQUENCES

4.1. Présentation de la méthode

La méthodologie utilisée pour l'analyse des risques relatifs aux digues de Vallabrègues résulte de la combinaison d'une Analyse Préliminaire de Risques (APR) et d'une représentation de scénarios par la méthode des nœuds papillons.

Elle nécessite dans un premier temps de recenser l'ensemble des situations dangereuses engendrées par un dysfonctionnement des fonctions principales de l'ouvrage, c'est-à-dire portant sur l'un de ses organes fonctionnels.

Ces situations dangereuses sont ensuite cotées selon la **probabilité d'occurrence** du ou des phénomènes conduisant à la situation dégradée, en fonction de la grille d'évaluation suivante :

Période de retour an	Cotation en fréquence	NIVEAU
100000	10^{-5}	NIVEAU 0 : Probabilité extrêmement faible inférieur ou égal à 10-5/aménagement/an
10000	10^{-4}	NIVEAU 1 : Probabilité très faible inférieur ou égal à 10-4/aménagement/an
1000	10^{-3}	NIVEAU 2 : Probabilité faible inférieur ou égal à 10-3/aménagement/an (crue de projet)
100	10^{-2}	NIVEAU 3 : Probabilité moyenne inférieur ou égal à 10-2/aménagement/an
10	10^{-1}	NIVEAU 4 : Forte probabilité supérieur à 10-2/aménagement/an

Tableau 2 : Échelle de probabilité

Conjuguées à des phénomènes hydrologiques particuliers, ces situations dangereuses peuvent aboutir à des accidents (rupture de l'ouvrage) ou Événement Redouté Centraux (ERC), dont la **gravité** est alors évaluée en fonction du nombre de personnes impactées selon la grille d'évaluation suivante :

G	0	1	2	3	4
Enjeux majeurs					
Nombre de personnes exposées	Aucune	entre 1 et 100	entre 100 et 1000	entre 1 000 et 10 000	Supérieur à 10 000

Tableau 3 : Échelle de gravité

Lorsque le phénomène liée à la rupture de l'ouvrage est caractérisée par une intensité forte et une cinétique rapide, la gravité des conséquences de la situation dangereuse est alors augmentée d'un niveau.

Le croisement de ces paramètres permet de définir la criticité de l'événement redouté en fonction de trois zones :

- La zone du **risque acceptable** pour laquelle l'ouvrage est réputé sûr compte tenu de la nature des dangers, des conséquences potentielles et, le cas échéant, des mesures nominales existantes (procédures d'exploitation, de maintenance, de surveillance...), celles-ci ayant démontré leur efficacité. Dans ce cas, aucune mesure de réduction du risque n'est donc nécessaire.
- La zone du **risque intermédiaire** pour laquelle les situations localisées dans cette zone font l'objet de mesures exceptionnelles, ciblées, telle qu'une surveillance renforcée,... Les actions à mener par le responsable de l'ouvrage s'inscrivent sur le principe ALARP (« As Low As Reasonably Practicable »), c'est-à-dire aboutir à un niveau de risque aussi bas qu'il est raisonnablement possible.
- La zone du **risque inacceptable** pour laquelle l'exploitant doit proposer des mesures de réduction du risque, lesquelles, une fois mises en œuvre, réduiront de manière conséquente soit la probabilité d'occurrence de l'accident, soit son niveau de gravité, voire les deux.

La grille de criticité utilisée est la suivante :

G + 1 si intensité forte et cinétique rapide



Probabilité	4					
	3					
	2					
	1					
	0					
		0	1	2	3	4
	Gravité					

	Zone inacceptable
	Zone intermédiaire
	Zone acceptable

Tableau 4 : Grille de criticité

4.2. Analyse de risques

A partir de l'analyse fonctionnelle ont donc été identifiées les situations dangereuses pouvant conduire à un accident potentiel ou un ERC (Événement Redouté Central), qui sont au nombre de trois pour les digues :

- Rupture de la digue par érosion ;
- Rupture de la digue par surcharge hydraulique ;
- Rupture de la digue par surverse.

Les situations dangereuses pour les digues en général sont rassemblées dans le tableau suivant, avec leurs causes potentielles organiques ainsi que leurs probabilités associées :

	Organes / Éléments importants pour la sécurité	Situation dangereuse	Cause potentielle	Estimation de la probabilité des scénarios							
				Proba initiale		Justification	Barrières sécu existantes			Proba avec barrières	
				Fréquence	Niveau		N°	Intitulé	NC	Fréquence	Niveau
DIGUES	Cavalier	Rupture du cavalier par surverse	Tassement point bas	x	x	Sans objet : le profil en long des digues fait l'objet d'un suivi et d'un entretien régulier pour le rendre conforme au cahier des charges	x	x	x	x	x
		Rupture du cavalier par surverse puis rupture de l'ouvrage par surverse	Dysfonctionnement du barrage et/ou de l'usine	x	x	Sans objet : en cas de dysfonctionnement du barrage et/ou de l'usine, ce sont les digues plus en aval qui seront impactées en premier (formation d'une brèche)	x	x	x	x	x
	Talus amont	Rupture de l'ouvrage suite à un glissement du talus amont	Abaissement brutal de 2m du plan d'eau suite à un blocage de l'usine d'Avignon	P=10 ⁻⁴	1	Sans objet : Scénario difficilement imaginable - arrêt temporaire de l'aménagement amont mais dans ce cas l'exploitant est averti (niveau bas de l'AS) et il peut arriver sur le site dans la 1/2 h pour fermer l'usine	x	x	x	x	x
			Erosion du talus amont suite à un choc de bateau	P=10 ⁻²	3	Probabilité d'un choc de bateau : 10-2 surveillance bathy + travaux correctifs --> 10-5	160	1.60 Conception spécifique d'ouvrages principaux et d'ouvrages annexes	1	P=10 ⁻⁵	0
						204	2.04 Contrôle et surveillance des ouvrages principaux et des ouvrages annexes	1			
					215	2.15 Appel à des entreprises identifiées en cas de crise	1				
	Corps de digue	Rupture par érosion interne	Formation de renards (anomalie géologique - présence de Tourbe) (phénomène lent)	P=10 ⁻²	3	Probabilité sans les barrières : Accidentologie - Niveau international	204	2.04 Contrôle et surveillance des ouvrages principaux et des ouvrages annexes	1	P=10 ⁻⁴	1
				P=10 ⁻¹	4	au droit de la zone d'incident PK246.9 RD	215	2.15 Appel à des entreprises identifiées en cas de crise	1		
		Rupture par charge hydraulique excessive	Décolmatage de la digue lié à un entrainement de fines suite à une onde de disjonction non compensée, associé à un mauvais drainage	P=10 ⁻³	1	Sans effet : Les calculs de stabilité prennent en compte le fait que le parement amont n'est pas colmaté et donc pas étanche.		Alerte de l'exploitant PA / AS / manœuvre locale du barrage	3	<P=10 ⁻⁵	0
		Rupture suite à une agression externe	Animaux fouisseurs	x	x	Sans objet : pas d'animaux fouisseurs du fait de la structure des digues (graviers)	x	x	x	x	x
		Rupture suite à un séisme - liquéfaction	Séisme	P=10 ⁻⁴	1	Les digues résistent à un séisme de 10-4	205	2.05 Conduite à tenir en cas de séisme	1	P=10 ⁻⁴	1
		Talus aval	Rupture par érosion externe	Endommagement du parement aval suite à la présence de végétation	x	x	Sans objet : pas de végétation dans partie inférieure du talus aval	x	x	x	x
	Endommagement du parement aval suite à intervention humaine			x	x	Sans objet : l'intégrité de la digue pas remise en cause	x	x	x	x	x
	Rupture par surcharge hydraulique		Configuration géologique particulière (verrou rocheux) --> cas du PK246.9 RD	P=10 ⁻¹	4	Probabilité sans les barrières : Accidentologie - Niveau international Zone d'incident au PK246.9	204	2.04 Contrôle et surveillance des ouvrages principaux et des ouvrages annexes	1	P=10 ⁻⁴	1
						215	2.15 Appel à des entreprises identifiées en cas de crise	1			
	Rupture par surcharge physique combinée à un défaut de drainage	Passage sur la digue d'engins de transport trop lourd sur la piste de risberme	P=10 ⁻⁴	1	Tous les transports lourds sont soumis au préalable à autorisation faisant intervenir les spécialistes en géotech.	163	1.63 Accès réglementé	1	P=10 ⁻⁵	0	
OUVRAGES	Canalisations traversantes	Rupture de la digue	Obstruction du siphon suite embâcles, Ecoulements interne le long de l'ouvrage Erosion interne	x	x	Sans objet : pas de canalisation traversant le tronçon de digue RD PK246.5 - PK247.0	x	x	x	x	x
	Seuils et ouvrages de rétablissement du contre-canal	Erosion du talus aval - rupture de la digue	Obstruction du contre canal par des embâcles sous les ouvrages de rétablissement ou rupture d'un seuil - Déversement au dessus de l'ouvrage de rétablissement	x	x	Sans objet : pas de seuil ou d'ouvrage de rétablissement du contre-canal sur le tronçon de digue RD PK246.5 - PK247.0 t	x	x	x	x	x
	Piste d'exploitation	Piste impraticable	Rupture de digue - enneigement - glissement du talus amont	x	x	Sans objet : la piste de digue ne donne pas accès aux ouvrages stratégiques (usine, barrage...)	x	x	x	x	x
	Réseaux	Rupture du réseau	Rupture de digue - glissement du talus amont	x	x	Sans objet : pas de réseaux traversants	x	x	x	x	x

Tableau 5 : Situations dangereuses redoutées sur la digue au PK246.9 RD de l'aménagement de Vallabrègues

La criticité des accidents potentiels qui découlent de ces situations dangereuses a ensuite été évaluée en fonction de :

- l'occurrence des débits ou des phénomènes climatiques à l'origine de la transformation de cette situation dangereuse en un Événement Redouté Central avec la libération de tout ou partie de l'eau de la retenue ;
- l'importance de la population touchée et donc de la gravité de l'événement.

Le tableau de cette analyse est présenté en annexe 7.3. Le schéma de cette analyse selon la méthode en nœud de papillon est présenté en annexe 7.4

L'étude de dangers des digues de l'aménagement de Vallabrègues a montré que l'ensemble des scénarios identifiés dans l'analyse de risques sont de criticité acceptable.

Le tronçon de digue, objet de la présente étude, est une zone d'incident, caractérisée par un phénomène d'érosion interne et un manque de stabilité du talus aval en cas de surcharge hydraulique.

A la différence de l'érosion interne, le manque de stabilité du talus aval dépend directement des conditions hydrologiques (crue ou épisode pluvieux important). Du fait de la configuration du site (présence d'un verrou rocheux), la nappe est en charge de façon quasi-permanente. Lorsque les conditions hydrologiques sont défavorables (crue ou épisode pluvieux important), la charge dans la nappe s'accroît encore. Cette situation s'apparente à un défaut de drainage. Dans cette configuration, les coefficients de stabilité du talus aval vis-à-vis du glissement sont inférieurs à ceux préconisés.

C'est ce qu'ont montré les études réalisées dans le cadre de cet incident de digue mais également celles réalisées dans le cadre de l'étude de dangers des digues de l'aménagement de Vallabrègues, lorsque les conditions de drainage à l'aval sont défavorables.

Ces deux scénarios pouvant conduire à une rupture de digue (soit par érosion interne, soit par surcharge hydraulique) ont été classés de **criticité acceptable**, du fait de :

- la faible vulnérabilité derrière la digue (entre 1 et 100 personnes – gravité 1, augmentée de 1 étant donné la cinétique rapide et l'intensité forte du phénomène – Gravité finale =2),
- des barrières de sécurité existantes qui permettent de décaler la probabilité initiale de rupture de digue au droit d'une zone d'incident estimée à 10^{-1} .

Ces barrières, au nombre de trois, sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau des barrières	
1	*Contrôle et surveillance au droit des zones d'incident NC = 1
2	*Contrôle et surveillance périodique des ouvrages principaux et des ouvrages annexes (tous les 15 jours pour les digues, tous les 7 jours pour les points singuliers) * Existence d'un marché cadre avec les entreprises NC = 2
4	*Conception spécifique d'ouvrages principaux et d'ouvrages annexes NC = 1

Tableau 6 : Barrières de sécurité pour les deux scénarios identifiés

La probabilité finale du scénario de rupture de la digue PK246.9 RD par érosion interne est donc de 10^{-4} , celle par surcharge hydraulique de 10^{-5} (puisque associée à la probabilité d'une crue ou d'un épisode pluvieux important d'occurrence 10^{-1}).

Les barrières de sécurité mises en place ont une action plutôt curative puisqu'elles permettent d'intervenir rapidement sur les zones d'incident de façon à limiter ou réparer les désordres constatés.

La CNR souhaitant intervenir de façon préventive sur la zone d'incident PK246.9RD, la réalisation de travaux de confortement du talus aval permettra de réduire la probabilité initiale de rupture de cette digue à 10^{-2} (au lieu de 10^{-1}). Cette probabilité initiale, correspondant à celle évaluée pour les digues hors zones d'incident, permettra de revenir à une surveillance classique, au même titre que les autres tronçons de digue. Une surveillance particulière sera néanmoins réalisée dans le cadre du suivi des travaux sur un délai permettant de juger de l'efficacité de ces travaux.

5. ÉTUDE DE REDUCTION DES RISQUES

L'objectif de la mesure de réduction de risques est de garantir la stabilité de la digue, notamment vis-à-vis du risque de glissement de terrain généralisé, tout en garantissant le drainage des eaux en provenance de la digue et l'écoulement du contre-canal vers l'aqueduc des Issarts.

La stabilité de la digue vis-à-vis d'un glissement généralisé peut être garantie par la mise en œuvre d'une butée supplémentaire en pied de digue.

Les matériaux constituant ce massif doivent être drainants afin de favoriser l'évacuation des percolations à travers la digue.

Ainsi, la solution retenue consiste à conforter le pied de la digue par un remblai drainant.

Cette butée engagera la section du contre-canal actuel. Afin de garantir l'écoulement, le contre-canal sera déplacé vers la plaine.

6. CONCLUSION

Les potentiels de dangers identifiés sur la digue PK246.9RD sont la rupture de digue par érosion interne ou par surcharge hydraulique, provoquant une onde de submersion dans la plaine des Angles.

Ces deux scénarios sont néanmoins de criticité acceptable, d'une part du fait de la faible vulnérabilité du secteur (entre 1 et 100 personnes) et d'autre part, du fait des barrières de sécurité existantes (au nombre de trois) permettant de décoter la probabilité initiale.

La CNR souhaitant néanmoins intervenir de façon préventive sur cette zone d'incident, la réalisation de travaux de confortement du talus aval permettra de réduire la probabilité initiale de rupture de cette digue et permettra de revenir à une surveillance classique, au même titre que les autres tronçons de digue. La barrière de sécurité « dispositif de surveillance renforcée et études spécifiques » sera donc substituée par le confortement du linéaire de digue impacté. Une surveillance particulière sera néanmoins réalisée dans le cadre du suivi des travaux sur un délai permettant de juger de leur efficacité.

Le projet de confortement de la digue prévu au PK 246.9 RD ne modifiera pas l'étude de danger générale de l'aménagement de Vallabrègues.

7. ANNEXES

7.1. Méthode APR

Le tableau utilisé pour l'APR est le suivant :

Ouvrage	PK	Organes/ Eléments importants pour la sécurité	Situation dangereuse - événement initiateur	Causes potentielles	Débit du Rhône / Etat hydraulique	Accident potentiel	Proba hors mesures	Traitement du risque : mesures existantes		Actuel			Criticité	Mesures complémentaires	
								Mesures techniques	Mesures organisa- tionnelles	Prob	Int.	Grav		Mesures techniques	Mesures organisa- tionnelles

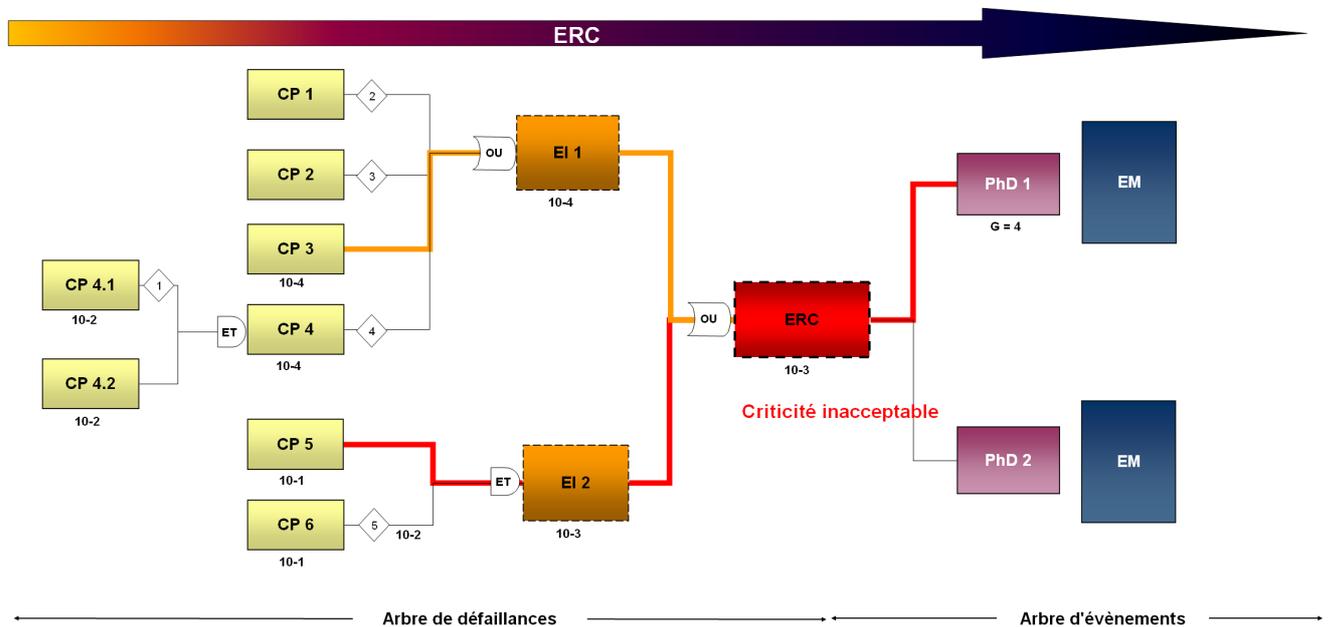
Tableau 7 : Tableau type APR

Sont mentionnés dans le tableau :

- **Ouvrage** : désignation de l'ouvrage concerné ;
- **Situation dangereuse** : identification des événements indésirables qui peuvent conduire à un accident ;
- **Causes potentielles** : ensemble d'événements conduisant à la situation dangereuse ;
- **Débit du Rhône / État hydraulique** : les débits envisagés pour chaque situation dangereuse sont le débit de la crue de projet, les débits intermédiaires (débits supérieurs au débit d'équipement et inférieurs ou égaux au débit des plus hautes eaux navigables) et le débit normal (inférieur au débit d'équipement) qui ne nécessite pas de personnel sur le site ;
- **Accident potentiel** : désignation de l'accident / identification des possibilités d'accident résultant des situations dangereuses ;
- **Probabilité hors mesures** : probabilité de l'événement évalué hors mesures de sécurité existantes qui visent à réduire l'occurrence d'un tel phénomène ;
- **Traitement du risque / mesures existantes** : recensement des mesures techniques et organisationnelles adoptées pour éliminer ou maîtriser le danger identifié. L'efficacité de ces mesures (niveau de confiance NC) permet de réduire la probabilité d'occurrence de l'événement ;
- **Prob./Int./Grav** : appréciation de la probabilité d'occurrence de la situation dangereuse, de l'intensité de l'onde de submersion et de la gravité des conséquences de l'accident potentiel ;
- **Criticité** : croisement des cotations de l'occurrence de la situation dangereuse avec la gravité de l'accident potentiel pour déterminer la criticité de cet accident potentiel (acceptable, intermédiaire ou inacceptable) ;
- **Mesures complémentaires** : identification de mesures complémentaires de réduction du risque dans le cas où le niveau de risque serait jugé inacceptable ou intermédiaire.

7.2. Méthode ANP

Le schéma utilisé pour l'ANP est le suivant :



LEGENDE



Tableau 8 : Représentation graphique du nœud papillon

- **Barrières existantes** : ce sont les mesures identifiées au titre de l'APR qui permettent de diminuer la probabilité d'occurrence des causes potentielles. ;
- **Causes potentielles** : ce sont les causes pouvant conduire à l'apparition des situations dangereuses identifiées dans l'APR. Leur probabilité, identifiée dans le tableau de synthèse de l'APR, est rappelée sur le nœud papillon ;
- **Situation dangereuse** : elle est issue de la conjugaison d'une ou de plusieurs causes potentielles. Conjuguée avec un débit du Rhône, elle peut être à l'origine d'un accident potentiel ;
- **Évènement Redouté Central** : l'ERC d'un nœud papillon est identifié en fonction des accidents potentiels définis dans les tableaux d'APR. Un ERC est un évènement qui conduit à libérer tout ou partie de l'eau de la retenue et à exposer des personnes ;
- **Phénomène dangereux** : deux phénomènes dangereux sont identifiés car un ERC peut avoir des conséquences à l'aval (liées à l'onde de submersion) et à l'amont (liées à la vidange de la retenue) ;
- **Effets majeurs** : ce sont les conséquences de l'ERC en fonction du nombre de personnes exposées par la libération de l'eau, par la cinétique de l'évènement et par l'intensité de l'onde.

7.3. Analyse Préliminaire des Risques

PK	Organes / Éléments importants pour la sécurité	Situation dangereuse	Cause potentielle	Débit du Rhône / État hydraulique	Accident potentiel	Probabilité initiale Hors mesures de sécurité	Traitement du risque : mesures existantes			Probabilité	Actuel			Criticité	Mesures complémentaires		Commentaires	
							N°	Mesures techniques	Mesures organisationnelles		NC	Prob.	Int. - Cinet		Grav.	Mesures techniques		Mesures organisationnelles
								Intitulé	Intitulé									
DIGUES																		
DIGUE RD entre le PK246.5 et PK247.0																		
	Cavalier	Rupture du cavalier par surverse																
		Tassement	Tous les débits	Sans objet : remise à niveau régulière			x	x			x	x	x	x				
		Dysfonctionnement du barrage et/ou de l'usine	Tous les débits	Sans objet : en cas de dysfonctionnement du barrage et/ou de l'usine, ce sont les digues plus en aval qui seront impactées en premier (formation d'une brèche)			x	x			x	x	x	x				
		Endommagement du cavalier par érosion externe																
		Intervention humaine	Tous les débits	Sans objet : accès réglementé			x	x			x	x	x	x				
		Rupture du cavalier par érosion interne																
		Sans objet					x	x			x	x	x	x				
	Talus amont	Rupture de l'ouvrage suite à un glissement du talus amont																
		Abaissement brutal de 2 m du plan d'eau puis remontée du plan d'eau à un niveau < Q10 (dysfonctionnement grave à l'usine d'Avignon (blocage))		Sans objet : Scénario difficilement imaginable - arrêt temporaire de l'aménagement amont mais dans ce cas l'exploitant est averti (niveau bas de l'AS) et il peut arriver sur le site dans la 1/2 h pour fermer l'usine			x	x			x	x	x	x				
		Erosion du talus amont (choc de bateau) - agression externe		Rupture du talus amont, formation d'une brèche puis inondation	10-4	160	1.60 Conception spécifique d'ouvrages principaux et d'ouvrages annexes	204	2.04 Contrôle et surveillance des ouvrages principaux et des ouvrages annexes	3	10-7	0	1	2	acc			P=10-7 - Choc bateau : P=10-2 - Rupture de la digue sans barrière : P=10-2 - Débit courant : P=1 - Barrières : 10-3 G=2 - Entre 1 et 100 personnes exposées : G=1 - Cinétique rapide et intensité forte : 1
		2.15 Appel à des entreprises identifiées en cas de crise					215	2.15 Appel à des entreprises identifiées en cas de crise										
	Corps de digue	Rupture par érosion interne																
		Formation de renards (phénomène lent lié à une anomalie géologique ou un défaut de réalisation...)	Tous les débits	Rupture du corps de digue par érosion interne, formation d'une brèche puis inondation	10-1			204	2.04 Contrôle et surveillance des ouvrages principaux et des ouvrages annexes	3	10-4	1	1	2	acc	Confortement du pied de digue		P=10-4 - Formation renard : P=10-1 - zone d'incident - Débit courant : P=1 - Barrières : 10-3 G=2 - Entre 1 et 100 personnes exposées : G=1 - Cinétique rapide et intensité forte : 1
		2.15 Appel à des entreprises identifiées en cas de crise						215	2.15 Appel à des entreprises identifiées en cas de crise									
		Contrôle et surveillance au droit des zones d'incident																
		Rupture par charge hydraulique excessive																
		Erosion suite au décalmatage de la digue lié à un entraînement de fines suite à un déclenchement de l'usine non compensé associé à un mauvais drainage	Tous les débits	Scénario sans effet : Les calculs de stabilité prennent en compte le fait que le parement amont n'est pas colmaté et donc pas étanche.	x		x	x			x	x	x	x				
		Rupture suite à une agression externe																
		Animaux fouisseurs	Tous les débits	Sans objet : digues recouvertes de graviers (matériaux bouillants)			x	x			x	x	x	x				
		Explosion depuis un site industriel		Sans objet : aucun site SEVESO à proximité de la digue							x	x	x	x				
		Rupture suite à un séisme - liquéfaction																
		Séisme	Tous les débits	INONDATION par rupture potentielle des digues	10-4		x	x			x	x	x	x				P=10-4 - Séisme : P=10-4 - Débit courant : P=1
	Talus aval	Rupture par érosion externe																
		Endommagement du parement aval suite à la présence de végétation	Tous les débits	Sans objet : pas de végétation dans partie inférieure du talus aval			x	x			x	x	x	x				
		Endommagement du parement aval suite à intervention humaine	Tous les débits	Sans objet : l'intégrité de la digue n'est pas remise en cause			x	x			x	x	x	x				
		Rupture par surcharge hydraulique																
		Configuration géologique particulière : verrou rocheux	Crue ou fort épisode pluvieux	Rupture du talus aval par glissement, formation d'une brèche puis inondation	10-2			204	2.04 Contrôle et surveillance des ouvrages principaux et des ouvrages annexes	3	10-5	0	1	2	acc	Confortement du pied de digue		P=10-5 - Rupture du talus aval : P=10-1 - zone d'incident - Crue ou fort épisode pluvieux : P=10-1 - Barrières : 10-3 G=2 - Entre 1 et 100 personnes exposées : G=1 - Cinétique rapide et intensité forte : 1
		2.15 Appel à des entreprises identifiées en cas de crise						215	2.15 Appel à des entreprises identifiées en cas de crise									
		Contrôle et surveillance au droit des zones d'incident																
		Rupture par surcharge physique sur piste risberme + défaut de drainage																
		Glissement du talus aval suite au passage d'engins de transport trop lourds sur la piste de risberme combiné à un mauvais drainage de la digue	Tous les débits	Rupture du talus aval par glissement, formation d'une brèche puis inondation	10-4	163	1.63 Accès réglementé			1	10-5	0	1	2	acc			P=10-5 - Rupture du talus aval : P=10-4 - Débit courant : P=1 - Barrières : 10-1 G=2 - Entre 1 et 100 personnes exposées : G=1 - Cinétique rapide et intensité forte : 1

Organes / Éléments importants pour la sécurité	Situation dangereuse	Cause potentielle	Débit du Rhône / État hydraulique	Accident potentiel	Probabilité initiale Hors mesures de sécurité	Traitement du risque : mesures existantes			Probabilité	Actuel			Criticité	Mesures complémentaires		Commentaires	
						Mesures techniques		Mesures organisationnelles		NC	Prob.	Int. - Cinet.		Grav.	Mesures techniques		Mesures organisationnelles
						N°	Intitulé	N°									
OUVRAGES ANNEXES																	
Canalisations																	
	Erosion de la digue le long de la canalisation																
		Fuite ou rupture de la canalisation traversant le corps de digue	Tous les débits	Rupture du corps de digue par érosion interne, formation d'une brèche puis inondation			x				x	x	x	x			
Seuil (contre canal)																	
	Erosion du talus aval de la digue																
		Rupture et contournement du seuil	Tous les débits	Rupture du talus aval de la digue, formation d'une brèche puis inondation			x				x	x	x	x			
Ouvrage de rétablissement des contre-canaux																	
	Erosion du talus aval de la digue																
		Dysfonctionnement de l'ouvrage	Tous les débits	Rupture du talus aval de la digue, formation d'une brèche puis inondation			x				x	x	x	x			
Piste d'exploitation																	
	Piste impraticable																
		Rupture de digue, inondation ou enneigement	Tous les débits	Sans objet : la piste de digue ne donne pas accès aux ouvrages stratégiques (usine, barrage...)			x				x	x	x	x			
Réseaux																	
	Rupture du réseau																
		Rupture du réseau	Tous les débits	Sans objet : pas de réseaux traversants			x				x	x	x	x			

Tableau 9 : Tableau APR de la digue RD entre le PK246.5 et PK247.0 de l'aménagement de Vallabrègues

