

# Première caractérisation du risque de liquéfaction sous sollicitation sismique d'ouvrages hydrauliques en remblai existants ou projetés en basse vallée du Rhône

CEMAGREF - CEREGE - CEA



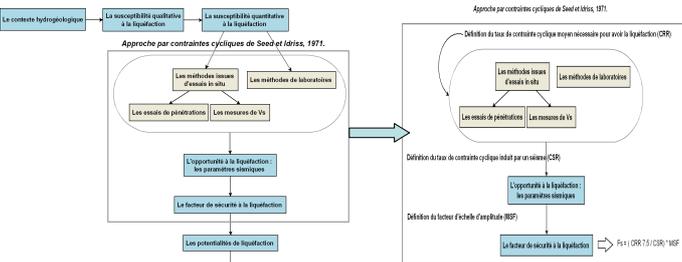
**Contexte :** Les ouvrages hydrauliques en remblai présentent de multiples causes de ruptures. Parmi elles, la liquéfaction des sols sous sollicitation sismique. La région Provence-Alpes- Côte d'Azur pouvant être considérée comme un secteur à risque sismique important , il apparaît alors nécessaire de se pencher sur la problématique des ouvrages hydrauliques en remblai de la basse vallée du Rhône vis-à-vis du phénomène de liquéfaction des sols sous sollicitation sismique.

## Objectifs :

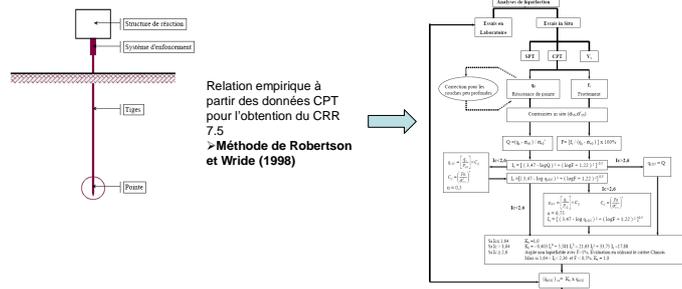
- Recherche bibliographique sur les cas renseignés d'ouvrages hydrauliques ayant subi une rupture par liquéfaction des sols sous sollicitation sismique;
- Etat de l'art sur les différentes méthodes d'évaluation du potentiel de liquéfaction ainsi que leur domaine de validité en vue d'une application aux digues en remblai;
- Analyse de l'aléa sismique des zones identifiées comme sensibles au risque de liquéfaction en basse vallée du Rhône;
- Etude de cas: Digue de Beaucaire-Fourques.

## 1/ L'évaluation du potentiel de liquéfaction des sols sous sollicitation sismique

### Méthodologie générale d'évaluation de l'aléa de liquéfaction des sols sous sollicitation sismique:

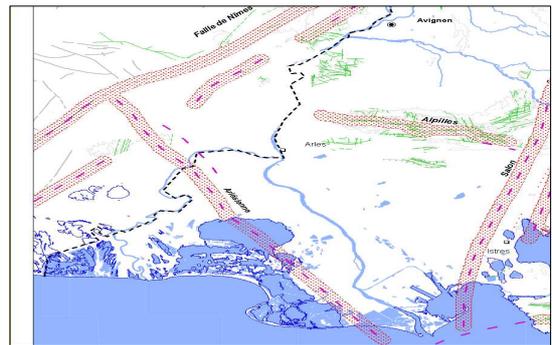


### Méthodes issues des essais in situ : exemple de l'utilisation du Cône Penetration Test (CPT) :



Cet état de l'art a permis une réflexion sur l'utilisation des méthodes d'évaluation du risque de liquéfaction appliquées aux ouvrages hydrauliques en remblai et notamment sur leurs domaines de validité concernant les ouvrages hydrauliques en remblai de la basse vallée du Rhône.

## 2/ Caractérisation simplifiée de l'aléa sismique en basse vallée du Rhône



L'évaluation de l'aléa sismique passe, en partie, par la caractérisation de l'activité des différentes sources sismiques (failles). Afin de déterminer le taux de contrainte induit par un séisme (CSR), deux paramètres doivent être déterminés : la magnitude et l'accélération maximum au sol (PGA).

### L'approche déterministe

Elle associe à chaque source sismique, un séisme maximum de référence et ses caractéristiques. Deux relations peuvent être utilisées:

#### Relation de Wells et Coppersmith (1994):

$$M_w = 4.38 (+/- 0.06) + 1.49 (+/- 0.04) \log(RLD)$$

RLD: longueur maximale rompue en km

#### Loi « Berge-Thierry et al » (2003):

$$\log PGA(f) = a(f) \cdot \text{magnitude} + b(f) \cdot R - \log(R) + c(\text{sol}, f)$$

R : distance locale

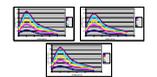
a, b et c: coefficients dépendant de la nature du sol

### L'approche probabiliste

Elle décrit les occurrences futures des séismes par une loi de distribution donnant la fréquence annuelle de séismes dépassant différentes magnitudes (ou intensité épicentrale).

#### Révision du zonage sismique de la France- Etude probabiliste (rapport GEOTER)

Détermination de la magnitude grâce à une méthode basée sur les augmentations forfaitaires de la magnitude maximale.



➤ Obtention du PGA pour une période de retour de 475 ans.

## 3/ Etude de cas : potentiel de liquéfaction sous sollicitation sismique de la digue du Rhône rive droite entre Beaucaire et Fourques



### ➤ Résultats

➤ Détermination du CRR 7.5 : Application de la méthode de Robertson et Wride (1998) ➔ CRR<sub>7.5</sub> = 0.08

➤ Détermination du CSR :

#### Approche déterministe

CSR = 0.21

M <sub>w</sub> = 6.8	M <sub>w</sub> = 5.9	M <sub>w</sub> = 6.3
MSF = 10 <sup>2.24</sup> f M <sub>w</sub> <sup>0.54</sup>	MSF = 10 <sup>2.24</sup> f M <sub>w</sub> <sup>0.54</sup>	MSF = 10 <sup>2.24</sup> f M <sub>w</sub> <sup>0.54</sup>
MSF = 1.28	MSF = 1.85	MSF = 1.56
$F_1 = \frac{R_{L10}}{R_{L50}} \cdot MSF$	$F_1 = \frac{R_{L10}}{R_{L50}} \cdot MSF$	$F_1 = \frac{R_{L10}}{R_{L50}} \cdot MSF$
F <sub>1</sub> = 0.48	F <sub>1</sub> = 0.70	F <sub>1</sub> = 0.59
Liquéfaction probable car F <sub>1</sub> < 1.30 conformément aux directives des PSSI – norme NF P 06 – 013	Liquéfaction probable car F <sub>1</sub> < 1.30 conformément aux directives des PSSI – norme NF P 06 – 013	Liquéfaction probable car F <sub>1</sub> < 1.30 conformément aux directives des PSSI – norme NF P 06 – 013

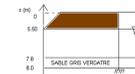
#### Approche probabiliste

CSR = 0.11

M <sub>w</sub> = 5.2	M <sub>w</sub> = 5.7
MSF = 10 <sup>2.24</sup> f M <sub>w</sub> <sup>0.54</sup>	MSF = 10 <sup>2.24</sup> f M <sub>w</sub> <sup>0.54</sup>
MSF = 2.55	MSF = 2.02
$F_1 = \frac{R_{L10}}{R_{L50}} \cdot MSF$	$F_1 = \frac{R_{L10}}{R_{L50}} \cdot MSF$
F <sub>1</sub> = 1.85	F <sub>1</sub> = 1.46
Détermination peu probable car F <sub>1</sub> > 1.30 conformément aux directives des PSSI – norme NF P 06 – 013	Liquéfaction peu probable car F <sub>1</sub> > 1.30 conformément aux directives des PSSI – norme NF P 06 – 013

**Interprétation:** le facteur de sécurité à la liquéfaction a été obtenu à partir des deux approches d'évaluation de l'aléa sismique. L'approche déterministe apparaît plus pénalisante que l'approche probabiliste.

➤ Choix de la couche sensible (susceptibilité qualitative):



➤ Données d'entrées CPT:

Résistance à la pénétration du cône qc (MPa)	Frottement latéral fs (MPa)	Rapport de frottement Rt (%)	Contraintes verticales totales et effectives σ v (kPa) et σ' v (kPa)
2.5	0.07	2.8	209.51    185.01

**Conclusions:** Les ouvrages hydrauliques en remblai, sous certaines configurations, sont naturellement sensibles au phénomène de liquéfaction des sols sous sollicitations sismiques. De nombreuses méthodes d'évaluation du potentiel de liquéfaction existent mais ne sont pas toutes applicables aux ouvrages hydrauliques en remblai. Celles-ci permettent de déterminer le facteur de sécurité vis-à-vis de la liquéfaction des sols sous séismes. L'aléa sismique en basse vallée du Rhône n'est pas négligeable. Deux approches ont été retenues pour son estimation sur un cas d'étude: l'approche déterministe et l'approche probabiliste. L'approche déterministe apparaît plus pénalisante que l'approche probabiliste estimant un aléa de période de retour 475 ans.