

**Journées techniques**  
organisées avec l'appui du Sétra  
et sous l'égide de la CoTITA

---

# **PRISE EN COMPTE DU RISQUE SISMIQUE**

**Mardi 27 mars 2012**  
**Lundi 2 et mardi 3 avril 2012**

CETE Méditerranée, Aix-en-Provence



# Journées techniques organisées avec l'appui du Sétra et sous l'égide de la CoTITA

## PRISE EN COMPTE DU RISQUE SISMIQUE



# Digues et barrages

**David CRIADO**  
**DREAL PACA**

# Digues et barrages

## Plan de l'exposé

- Retours d'expérience internationaux sur le comportement des ouvrages et les désordres constatés par famille d'ouvrages ;
- Législation actuellement en vigueur ;
- Projet d'arrêté en cours ;
- Conseils pour anticiper les évolutions.

# Digues et barrages

## Retour d'expérience sur les grands barrages

- Un retour d'expérience exhaustif sur les grands barrages (Commission Internationale des Grands Barrages) ;
- Quelques ruptures, ou tassements importants, de barrages en remblai (Californie, Japon, Chine) ;
- Ruptures affectant des remblais de stériles au Chili (technique minière par voie humide) ;
- Peu de dommages sur les barrages en enrochements en maçonnerie ou en béton (fissurations) ;
- Simple fissure du Barrage Tokiwa de 37 m hauteur, situé à 700 m de l'épicentre du séisme de Kobe 1995 ( $M=7.3$ ,  $a_{\max}=0,82$  g) .

→ Très faible vulnérabilité des grands barrages en terre construits avec les moyens modernes de compactage

# Digues et barrages



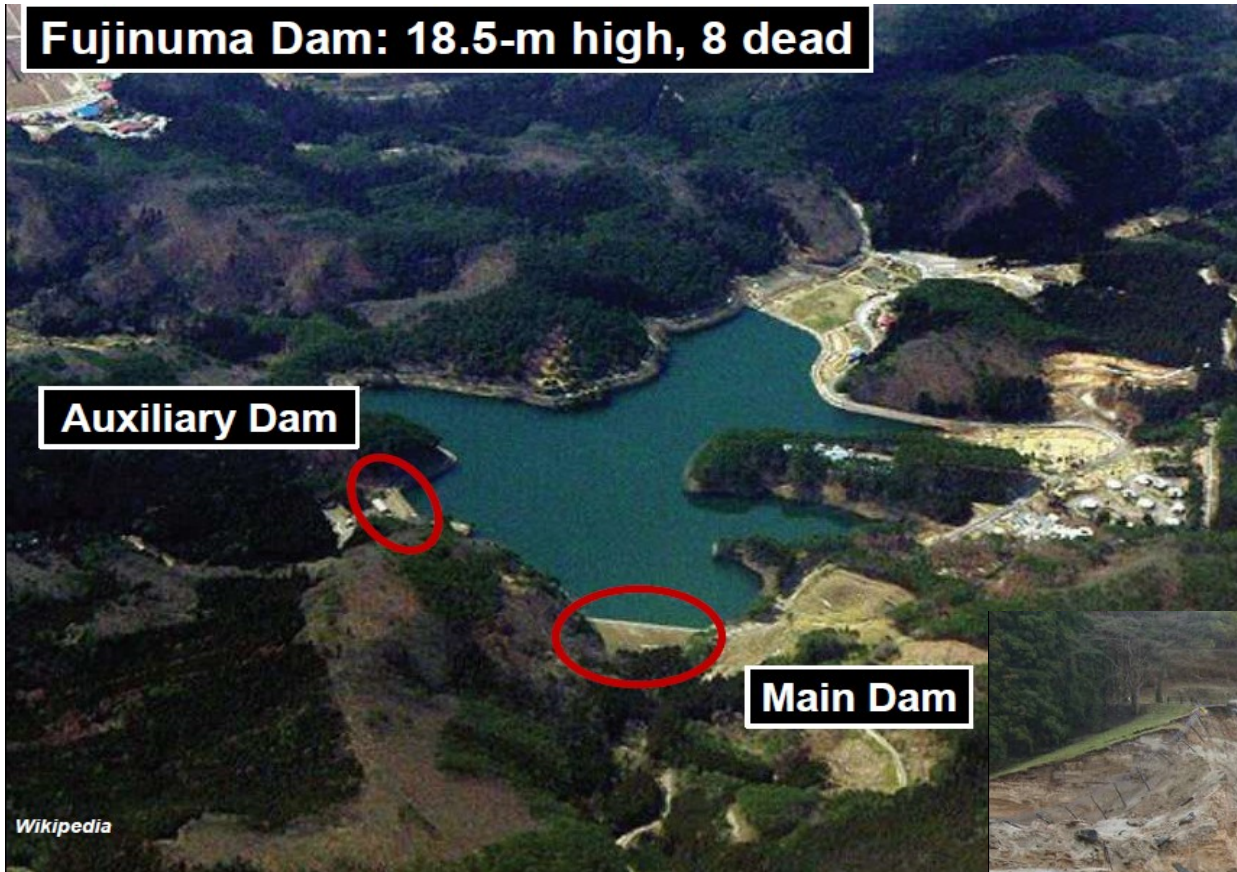
- H=44 m
- Construction 1912-1930
- Barrage en remblai
- Remblayage hydraulique
- Liquéfaction du corps de barrage

Lower San Fernando, 1971 (M=6.6,  
 $a_{\max} = 0,6 \text{ g}$ )



# Digues et barrages

**Fujinuma Dam: 18.5-m high, 8 dead**



H=18,5 m  
1937-1949  
8 morts

Japon, mars 2011 ( Tohoku ),  
M=9.0



# Digues et barrages



Surverse

Source GEER

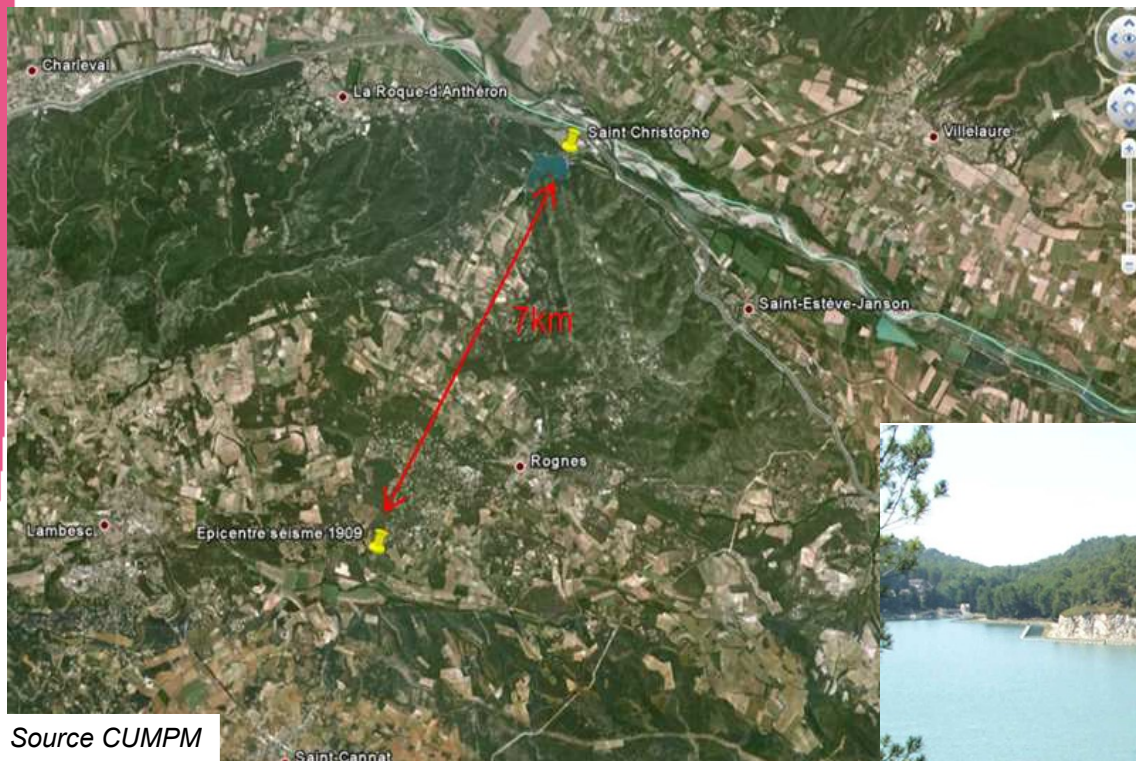


Source GEER

Libération brutale de 1,5  
millions m<sup>3</sup> d'eau

# Digues et barrages

## Et en France ? Barrage de Saint-Christophe



Source CUMPM

Séisme de Lambesc, 11/06/1909  
( $M=5,7$  à  $6,2$ ,  $a_{\max} = 0,15$  g à  $0,22$  g,  
au rocher sur site du barrage)

- H=22 m
- Construction 1876-1882
- Barrage en remblai, avec carapaces en maçonnerie
- Fissuration parement aval ?



Source CUMPM

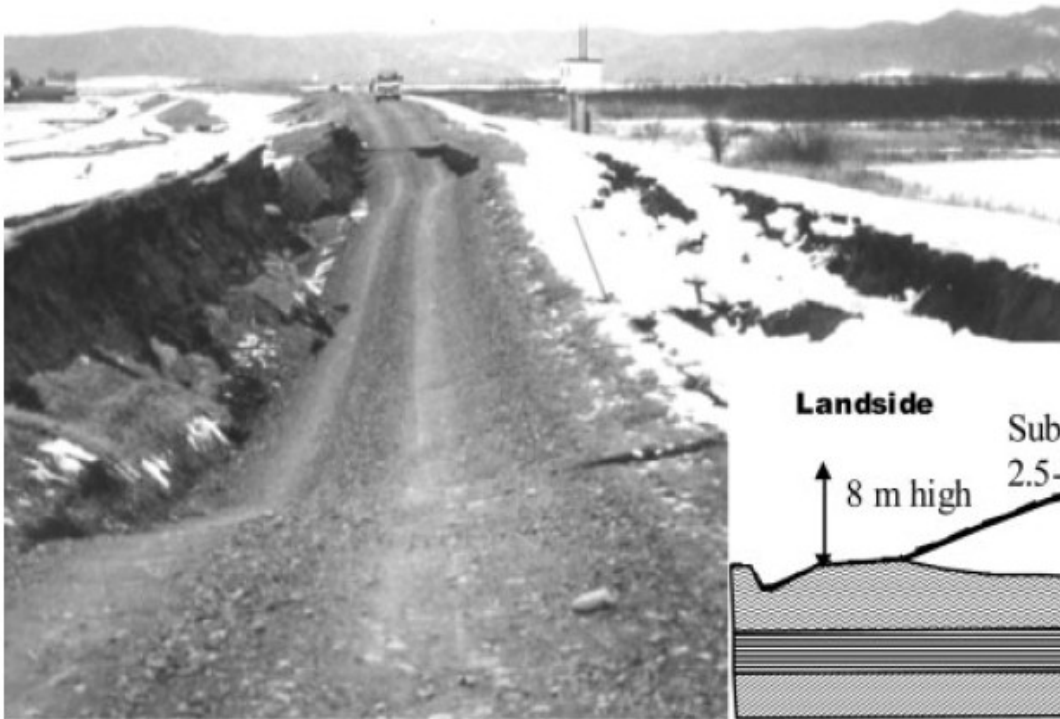


# Digues et barrages

## Retour d'expérience sur les digues

- Retour d'expérience moins étayé ;
- Ruptures de digues essentiellement liées à des phénomènes de liquéfaction (Japon, Nouvelle Zélande). La présence d'anciens bras de rivière est souvent suspectée (paléo-chenaux) ;
- Rupture par surverse en cas de Tsunami pour les digues maritimes (Japon, mars 2011).

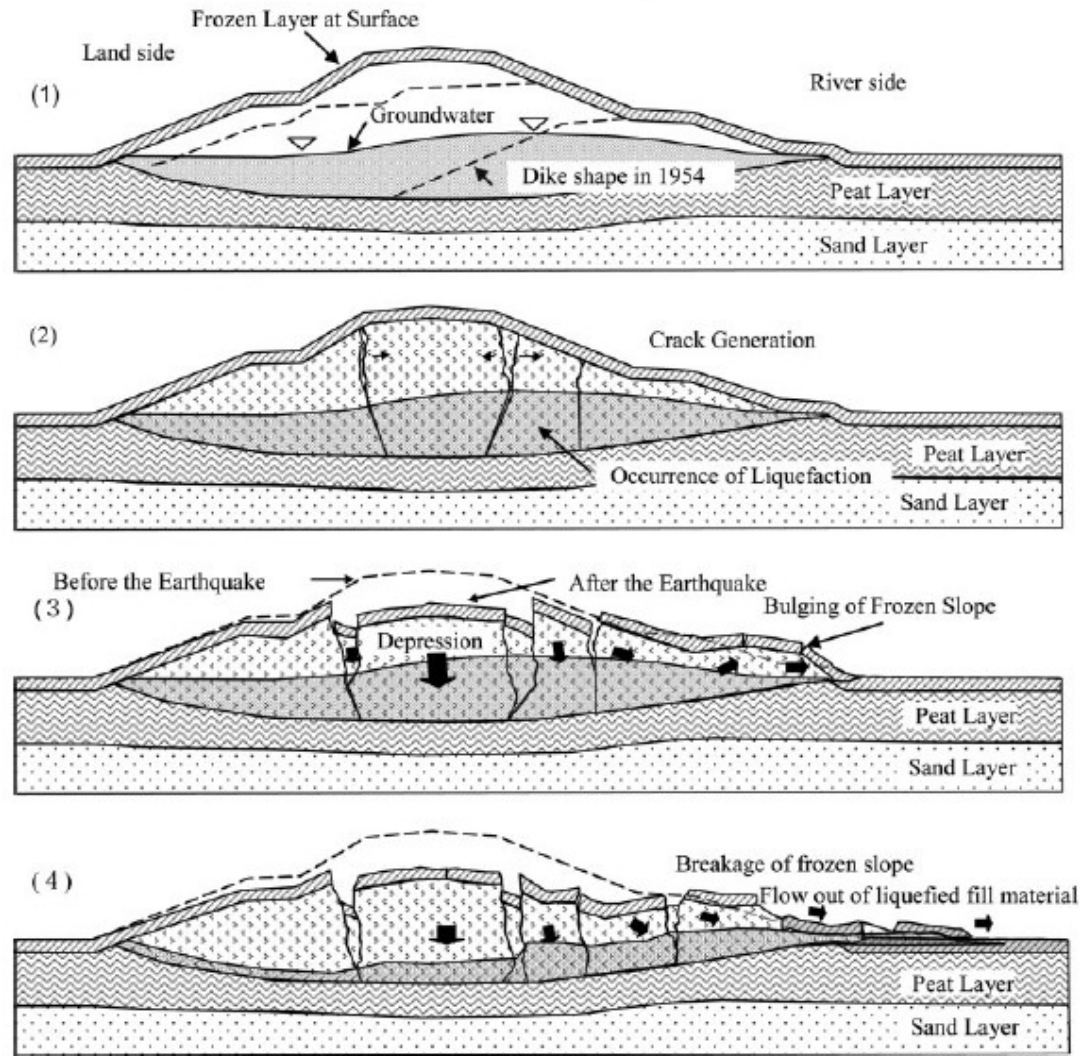
# Digues et barrages



Crédits  
Takaji Kokusho

Digue sur la rivière Tokashi (Kushiro-Oki, 1993,  $M=7.8$ ,  $a_{\max}=0,4$  g)

# Digues et barrages



Crédits  
Takaji Kokusho

Digue sur la rivière Tokashi (Kushiro-Oki, 1993,  $M=7.8$ ,  $a_{max} = 0,4 g$ )

# Digues et barrages



Liquéfaction et étalement latéral  
(lateral spreading)

Source ISSMGE Bulletin

Rivière Kaiapoi (Christchurch,  
Nouvelle-Zélande, 2010, M=7.1,  
 $a_{\max} \sim 0,15-0,35 g$ )



Source ISSMGE Bulletin

# Digues et barrages



Source ISSMGE Bulletin



Japon, mars 2011 ( Tohoku ),  
M=9.0

# Digues et barrages

## Législation actuelle

- Projets de barrages soumis à l'avis du Comité Technique Permanent des Barrages depuis 1967 puis 1975 (étude de sismicité du site incluse). Ce comité peut faire appliquer les derniers développements en la matière ;
- Décret du 14 mai 1991 ne cite pas les barrages et les ouvrages hydrauliques ;
- Décret de 1992 sur les plans particuliers d'intervention prévoit une analyse de risque comprenant le risque sismique;
- Guide de décembre 2003 visant à classer les barrages hydroélectriques concédés pour fixer un ordre de priorité dans l'analyse du comportement au séisme de ces ouvrages, et donnant quelques recommandations pour effectuer cette analyse.

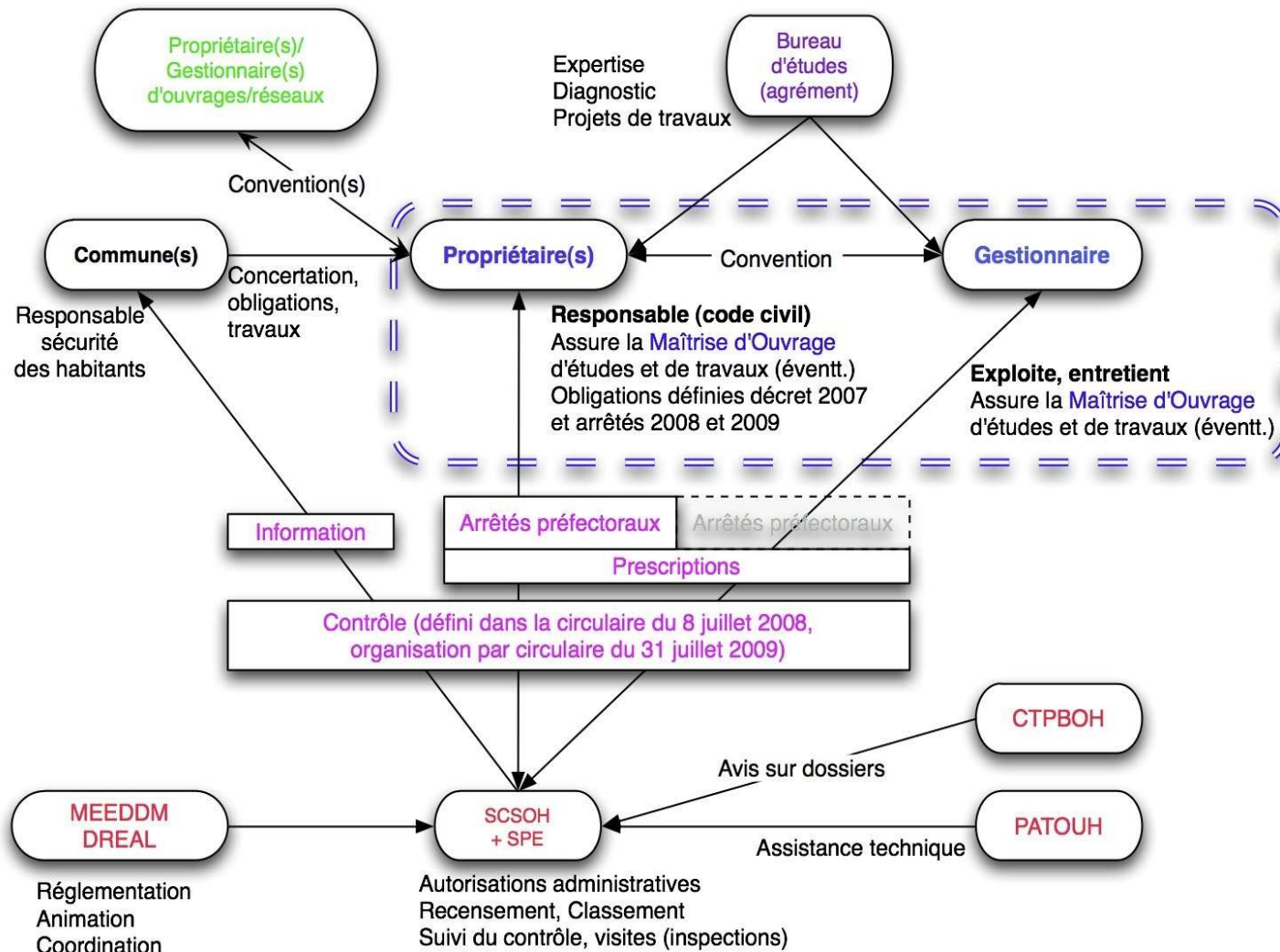
# Digues et barrages

## Législation actuelle (suite)

- Décret n°2007-1735 sur la sécurité des ouvrages hydrauliques introduit la prise en compte du risque sismique dans les documents réglementaires (étude de dangers, revue de sûreté) et dans la surveillance des ouvrages (visites post-sismiques);
- articles R563-1 à R563-8 du code de l'environnement (nouveau zonage) ne visent pas les barrages et digues (ouvrages à risque spécial) ;
- Les Eurocodes ne s'appliquent pas aux ouvrages hydrauliques. Aucun référentiel technique n'est obligatoire (instruction des services de contrôle).

# Digues et barrages

## Rôle des intervenants

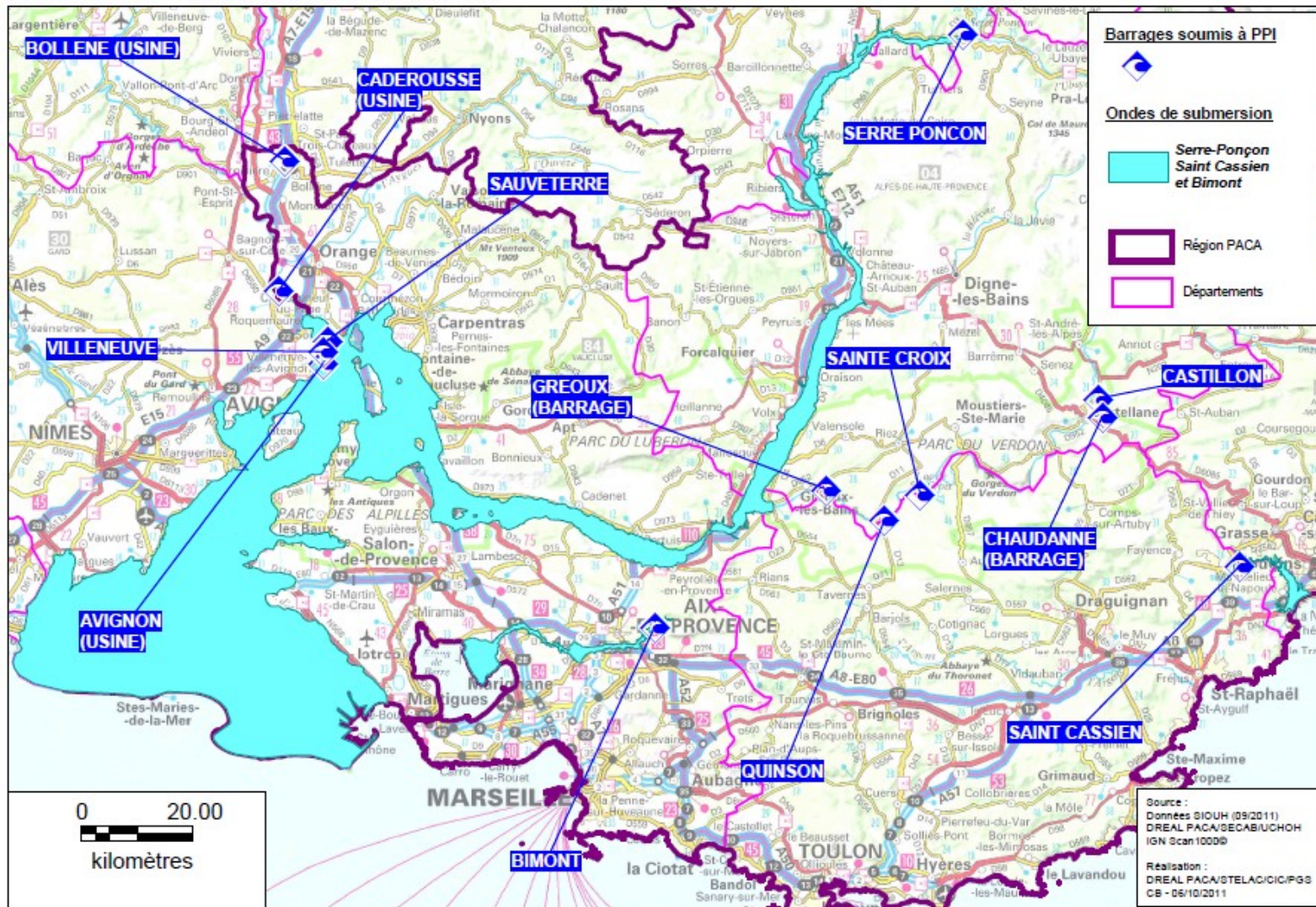




# Digues et barrages

## Illustration « Risque spécial »

### BARRAGES SOUMIS À PPI EN RÉGION PACA



# Digues et barrages

## Illustration « Risque spécial »



Image SPOT de la  
crue du Rhône de  
décembre 2003

# Digues et barrages

## Évolutions à venir (projet d'arrêté)

- Commande du DGPR à un GT pour réaliser un référentiel technique partagé par la communauté professionnelle sur la prise en compte du risque sismique ;
- Remise d'un rapport provisoire en novembre 2010 (référentiel proche de l'EC8), rapport définitif attendu pour le premier trimestre 2012 ;
- Arrêté définissant les cas de charge à prendre en compte pour la justification de la stabilité des digues et barrages (dont stabilité aux séismes)



attendu pour 2012.

# Digues et barrages

## Classement des ouvrages (R214-112 et R214-113 du CE)

### Barrages

Classe de l'ouvrage	Caractéristiques géométriques
A	$H \geq 20$
B	Ouvrage non classé en A et pour lequel $H^2 * V^{0,5} \geq 200$ et $H \geq 10$
C	Ouvrage non classé en A ou en B et pour lequel $H^2 * V^{0,5} \geq 20$ et $H \geq 5$
D	Ouvrage non classé en A, B ou C et pour lequel $H \geq 2$

### Digues

Classe de la digue	Caractéristiques de l'ouvrage et populations protégées
A	Ouvrage pour lequel $H \geq 1$ et $P \geq 50\ 000$
B	Ouvrage non classé en A et pour lequel $H \geq 1$ et $1\ 000 \leq P < 50\ 000$
C	Ouvrage non classé en A ou B et pour lequel $H \geq 1$ et $10 \leq P < 1\ 000$
D	Ouvrage pour lequel soit $H < 1$ , soit $P < 10$

# Digues et barrages

## Vérification de la sécurité des barrages

- Séisme d'évaluation de sécurité (SES), État-Limite Ultime, non effondrement (vidange rapide de la retenue) ;
- Réplique du SES (génération de sous-pressions) ;
- Séisme de base d'exploitation (SBE), État-Limite de Service, dispositifs de sécurité opérationnels



Définition de l'aléa sismique : approche forfaitaire fondée sur le zonage sismique national ou approche spécifique (déterministe ou probabiliste).

# Digues et barrages

## Vérification de la sécurité des barrages (provisoire)

Zone de sismicité	Classe D	Classe C	Classe B	Classe A
1	0,4	0,5	0,7	0,9
2	0,7	0,9	1,2	1,5
3	1,1	1,4	1,9	2,4
4	1,6	2,0	2,8	3,5
5	3,0	3,5	4,3	6,6

### Barrages, SES, accélérations horizontales ( $m/s^2$ ), $a_g$ (site rocheux)

	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone 5
Accélérations ( $m/s^2$ )	Sans objet	0,5	0,8	1,2	2,3

### Barrages, SBE, accélérations horizontales ( $m/s^2$ ), $a_g$ (site rocheux)

Zone de sismicité	Classe D	Classe C	Classe B	Classe A
1	non imposé	non imposé	non imposé	non imposé
2	non imposé	non imposé	non imposé	OUI
3	non imposé	OUI	OUI	OUI
4	OUI	OUI	OUI	OUI
5	OUI	OUI	OUI	OUI

### Barrages, vérification du risque de liquéfaction

# Digues et barrages

## Vérification de la sécurité des digues (provisoire)

Zone de sismicité	Classe D	Classe C	Classe B	Classe A
1	sans objet	0,2	0,3	0,4
2	sans objet	0,4	0,5	0,7
3	sans objet	0,7	0,8	1,1
4	sans objet	0,9	1,2	1,6
5	sans objet	1,8	2,2	3,0

## Digues, SES, accélérations horizontales ( $m/s^2$ ), $a_g$ (site rocheux)

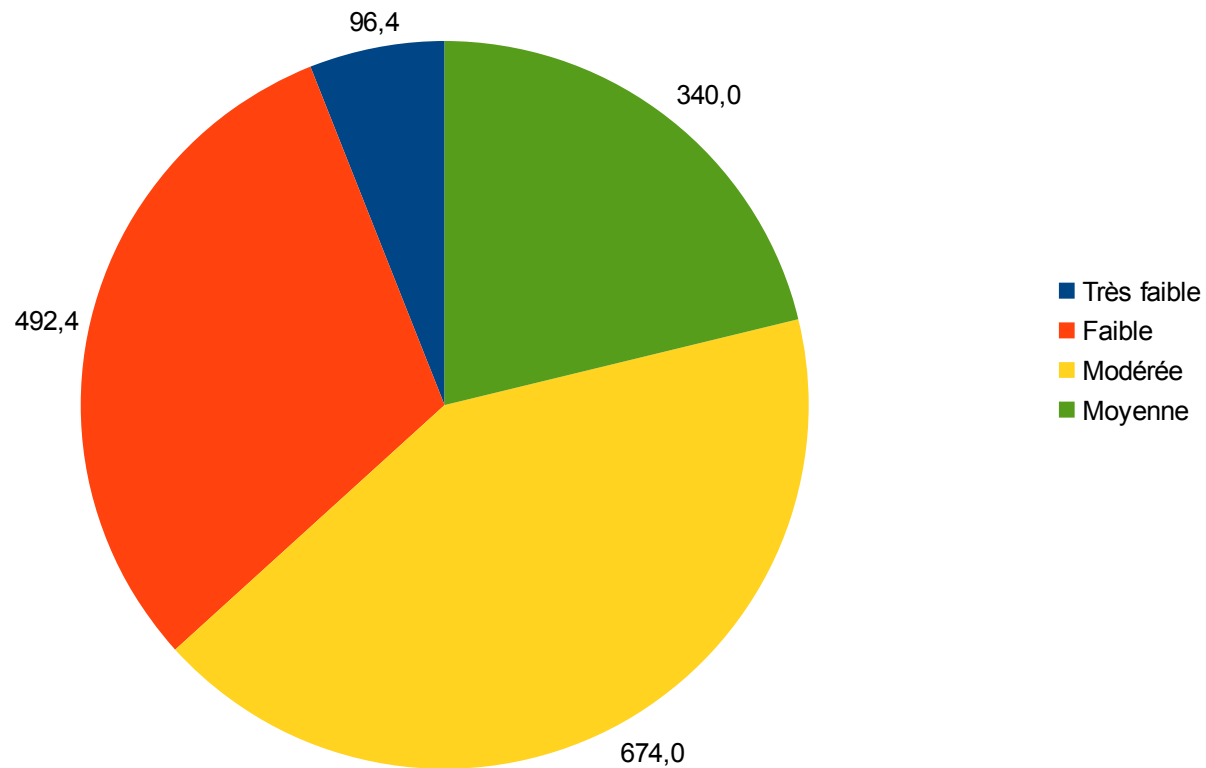
Zone de sismicité	Classe D	Classe C	Classe B	Classe A
1	non imposé	non imposé	non imposé	non imposé
2	non imposé	non imposé	non imposé	OUI
3	non imposé	non imposé	OUI	OUI
4	non imposé	OUI	OUI	OUI
5	OUI	OUI	OUI	OUI

## Digue, vérification du risque de liquéfaction

# Digues et barrages

## Zones de sismicité et répartition des digues en PACA (exprimés en km de digues)

Répartition du linéaire de digue en fonction des zones de sismicité (toutes classes)





# Digues et barrages

## Conseils aux maîtres d'ouvrage pour anticiper l'évolution de la réglementation

- Recours à des BE spécialisés (agrément) ;
- Intégrer le risque sismique dans le programme d'investigations géotechniques (CPT ou CPTu, SASW, etc.) ;
- Imposer d'ores et déjà les cas de charge sismiques dans le dimensionnement des nouveaux ouvrages ou confortements, et les diagnostics des ouvrages existants.