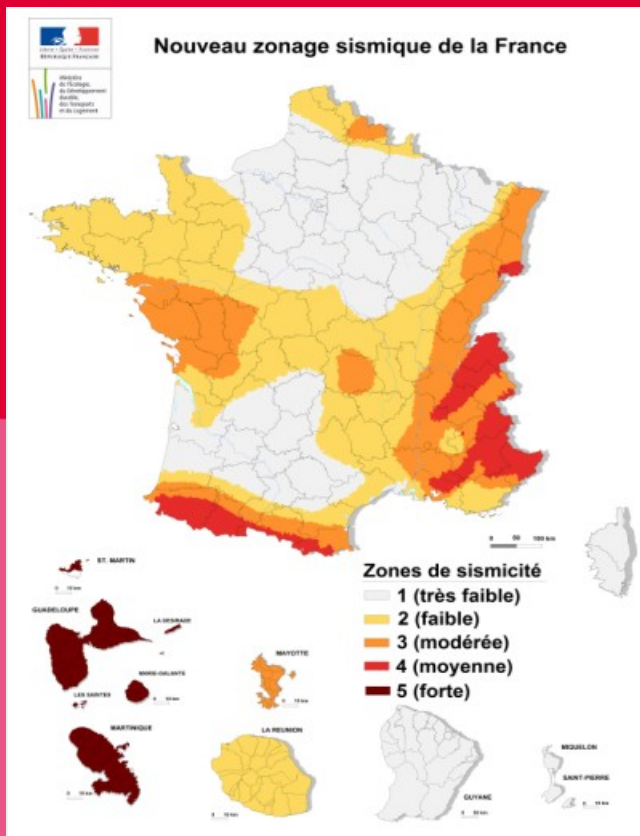


Journée technique

PRISE EN COMPTE DU RISQUE SISMIQUE

Présentation de la nouvelle législation parasismique



Olivier MALASSINGNE
CETE Ouest
Département Laboratoire de St Brieuc

Ressources, territoires, habitats et logement
Energies et climat Développement durable
Prévention des risques Infrastructures, transports et mer

Présent
pour
l'avenir

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
- Remblaiement hydraulique
- Liquéfaction du corps de barrage

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

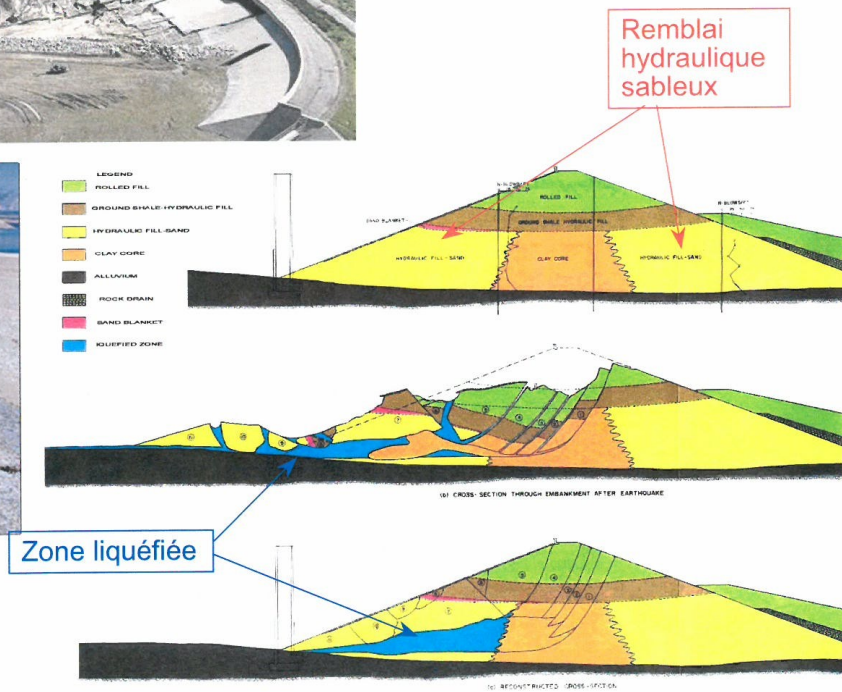


Digues et barrages

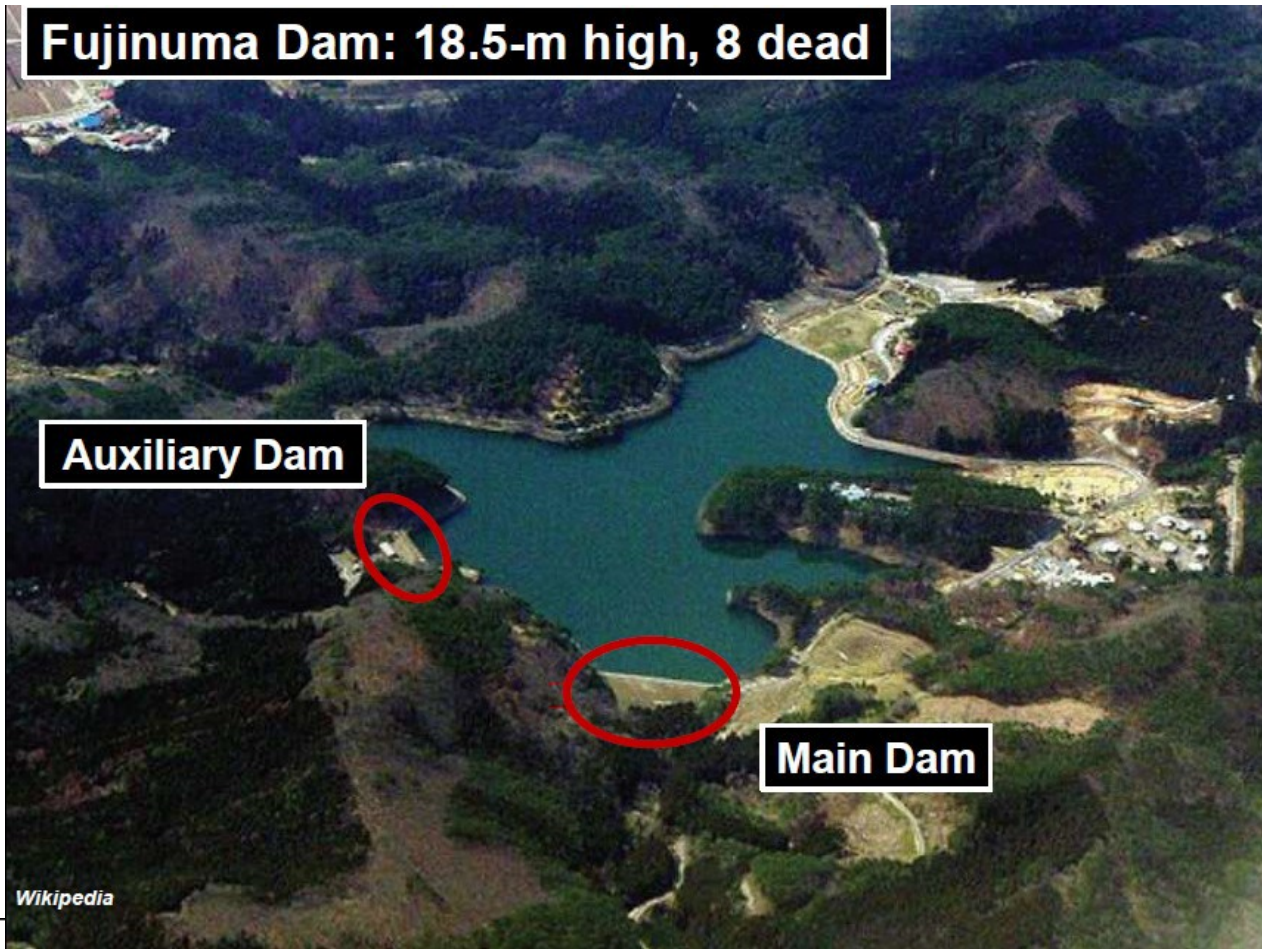


Barrage de San Fernando Californie

Séisme de San Fernando 1971



Digues et barrages



- Barrage de Fujinuma
- H = 18,5 m
- Ouvrage en terre
- Construction 1937-1949
-



Ministère
de l'Écologie,
du Développement
durable
et de l'Énergie

Digues et barrages



Séisme de Tohoku (Japon, mars 2011) $M = 9,0$
8 morts



Digues et barrages



Rupture par
surverse

Source GEER



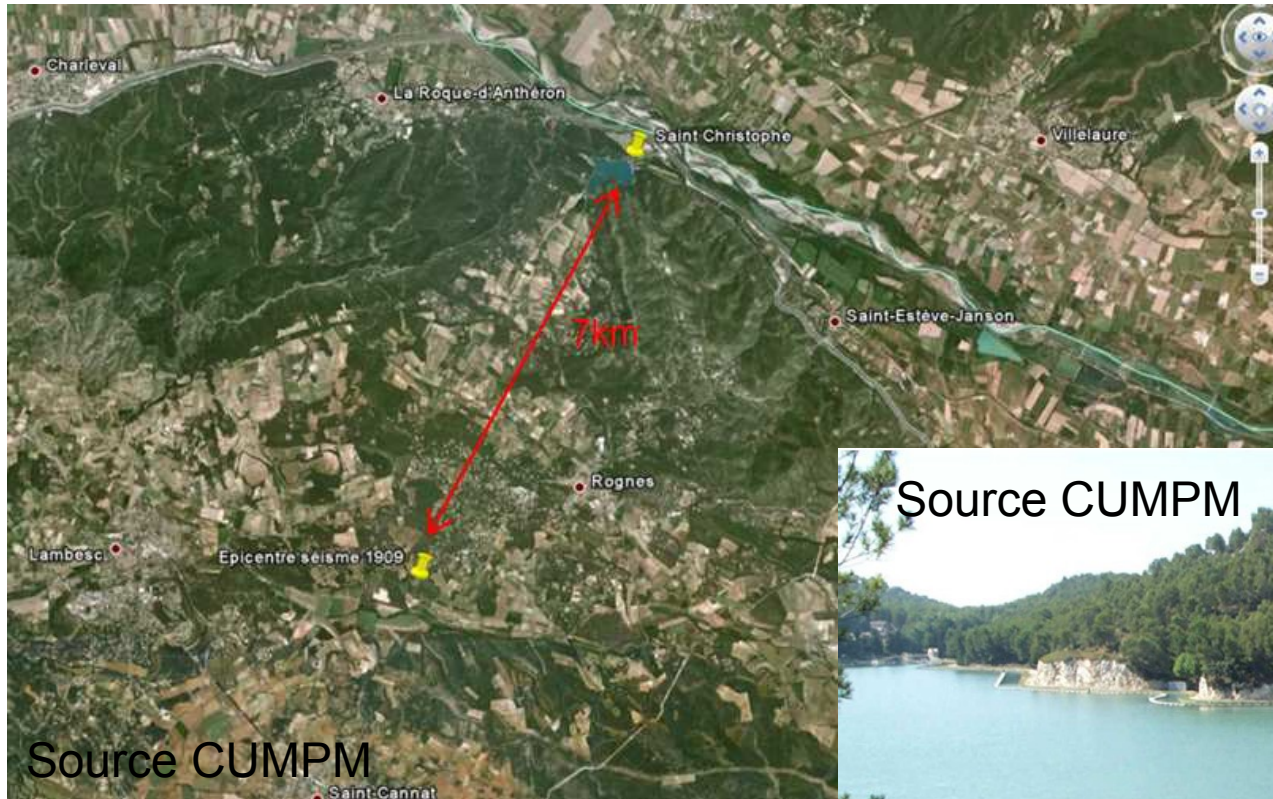
Source GEER

Libération brutale de
1,5 millions m³



Ministère
de l'Écologie,
du Développement
durable
et de l'Énergie

Digues et barrages



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



Source CUMPM

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 le site du barrage



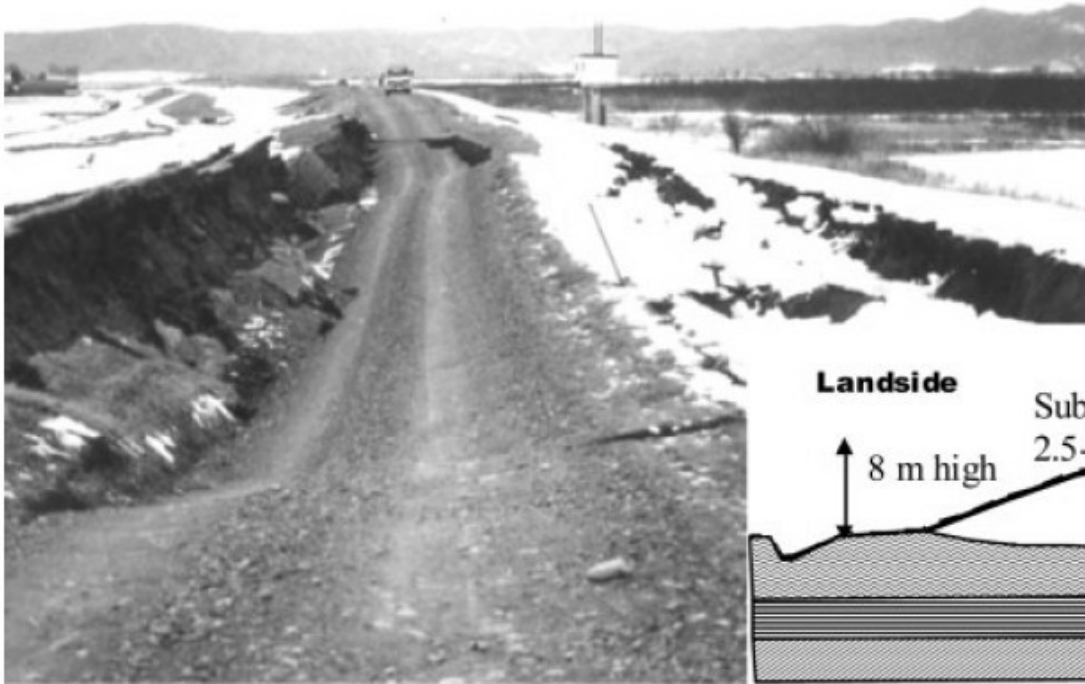
Digues et barrages

Retour d'expérience sur les digues

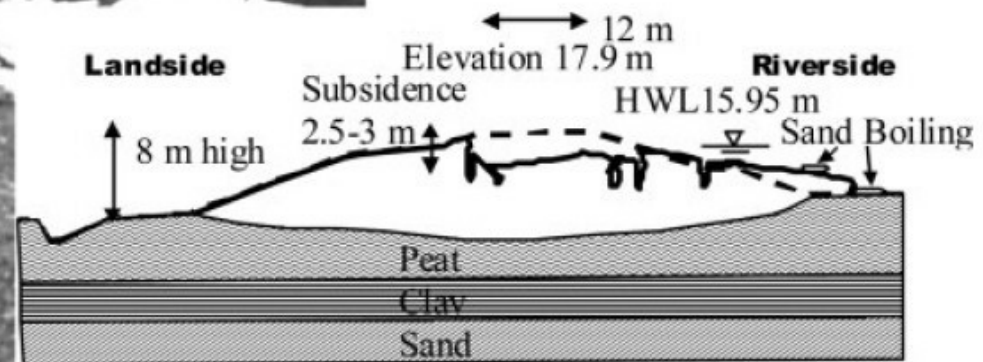
- Retour d'expérience moins étayé ;
- Ruptures de digues fluviales essentiellement liées à des phénomènes de liquéfaction (Japon, Nouvelle Zélande).
- La présence d'anciens bras de rivière est souvent suspectée (paléo-chenaux) ;
- Rupture par surverse en cas de Tsunami pour les digues maritimes (Japon,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



Digues et barrages



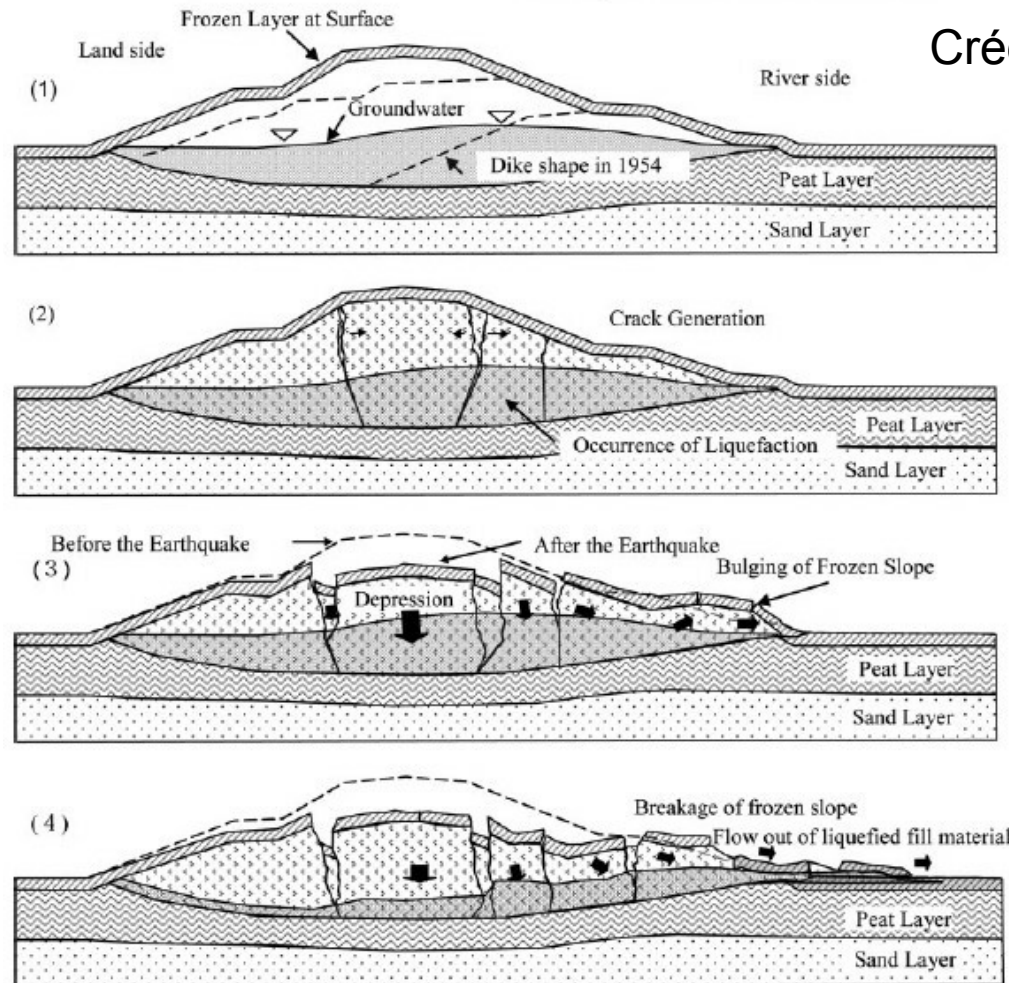
Crédits Takaji Kokusho



Digue sur la rivière Tokashi
Séisme de Kushiro-Oki (Japon) 1993
 $M = 7,8$, $a_{\max} = 0,4 g$

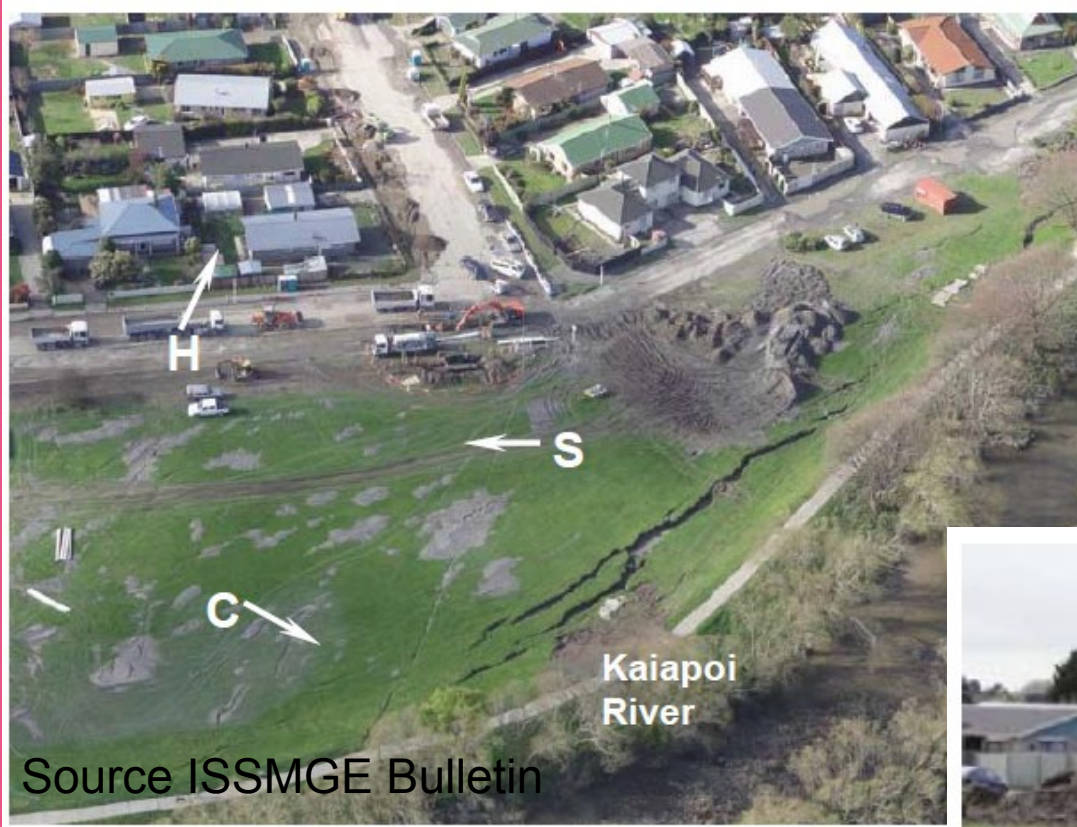
Digues et barrages

Crédits Takaji Kokusho



Digue sur la rivière Tokashi
Séisme de Kushiro-Oki (Japon) 1993
 $M = 7,8$, $a_{max} = 0,4 g$

Digues et barrages



Liquéfaction du sous-sol et étalement de sédiments provenant de la digue de la rivière Kalapoi
(c = cracks, fissures
S = slope, glissement)



Séisme de Christchurch
(Nouvelle Zélande) 2010
 $M = 7,1, a_{\max} = 0,15 \text{ à } 0,35 \text{ g}$



Digues et barrages



GEER 2011 (photo: L. F. Harder)

Séisme de Tohoku (Japon)
mars 2011, M=9,0



GEER 2011 (photo: L. F. Harder)

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)

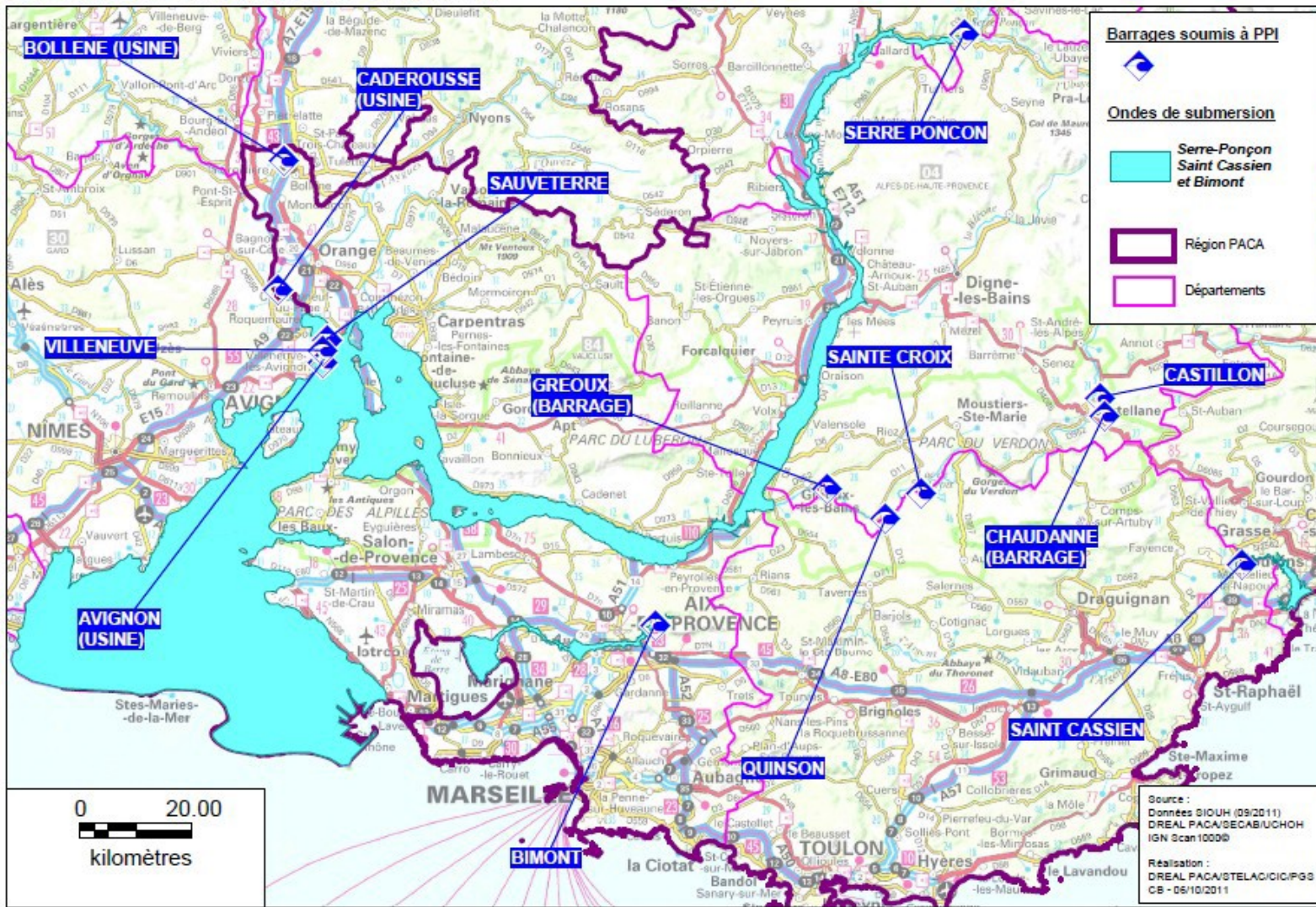
- Décret n°2007-1735 sur la sécurité des ouvrages hydrauliques introduit la prise en compte du risque sismique dans les documents réglementaires (étude de dangers, revue de sûreté) et dans la surveillance des ouvrages (visites post-sismiques);
- articles R563-1 à R563-8 du code de l'environnement (nouveau 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

Illustration « risque spécial »

BARRAGES SOUMIS À PPI EN RÉGION PACA



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 encore attendu ;
- Arrêté définissant les cas de charges à prendre en compte pour la justification de la stabilité des digues et barrages (dont stabilité aux séismes) attendu pour 2013 ?.



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)

Barrages, SES, accélérations horizontales (m/s²), a_g (site rocheux)

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, SBE, accélérations horizontales (m/s²), 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

Digues et barrages

Barrages, vérification du risque de liquéfaction

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

Digues et barrages

Vérification de la sécurité des digues (provisoire)

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

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

Digue, vérification du risque de liquéfaction

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

Digues et barrages

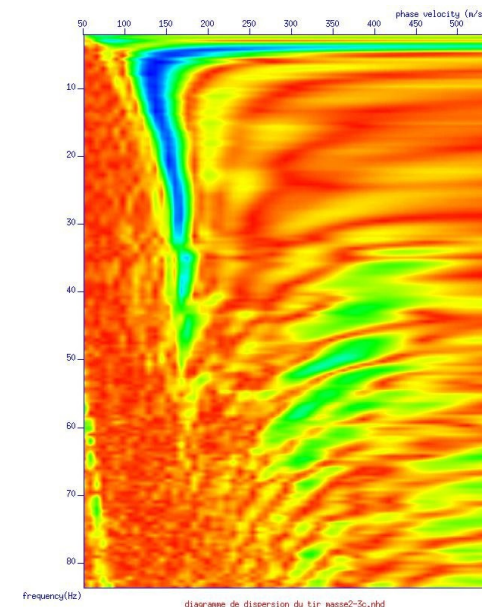
Conseils aux maîtres d'ouvrage pour anticiper l'évolution de la réglementation

- Recours à des BE spécialisés (agrément, CETE de l'ouest agréé digues et petit barrages) ;
- Intégrer le risque sismique dans le programme d'investigations géotechniques (pénétrömètre statique avec ou sans mesure de la pression interstitielle CPT, sismique par onde de surface, méthodes pratiquées par le CETE Ouest ...)
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.



Digues et barrages

Depuis 2009, le DLR de St Briec, étudie notamment le risque de liquéfaction de sols sous séismes d'une digue marine en baie du Mont St Michel, dans le cadre d'un projet de recherche IFSTTAR, DOFEAS. Comparaisons entre différentes méthodes (PS92) et EC8 et ensemble des méthodes d'investigations (CPT) sismique par onde de surface...



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ministère
de l'Écologie,
du Développement
durable
et de l'Énergie