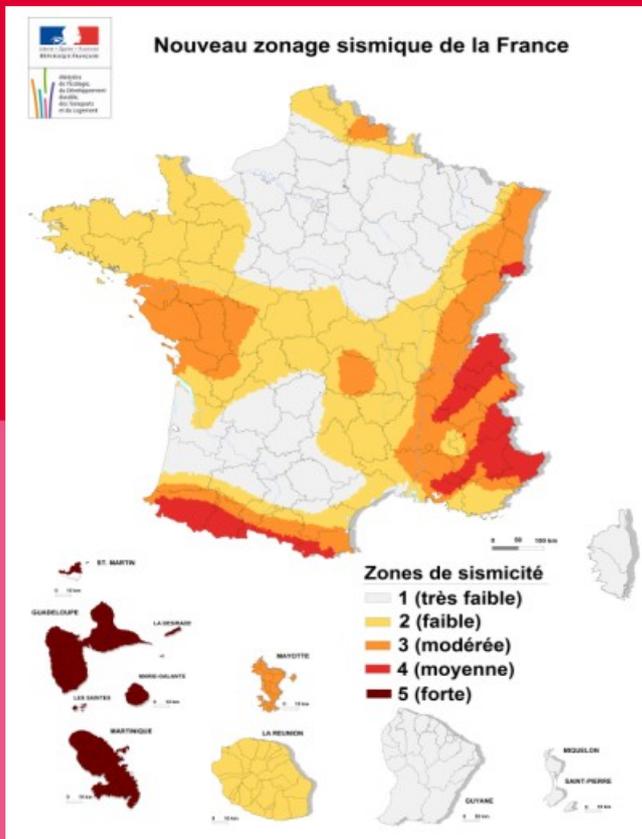


Journée technique

PRISE EN COMPTE DU RISQUE SISMIQUE

Séismicité régionale La liquéfaction des sols



Olivier MALASSINGNE
DLR Saint Briec
CETE Ouest

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

Présent
pour
l'avenir

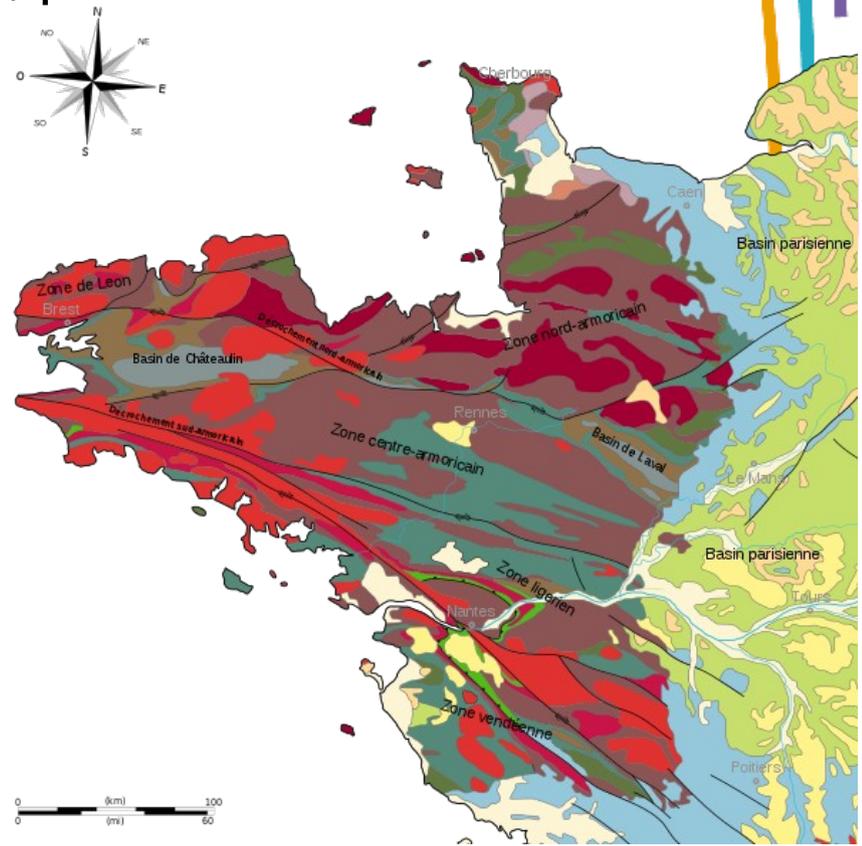
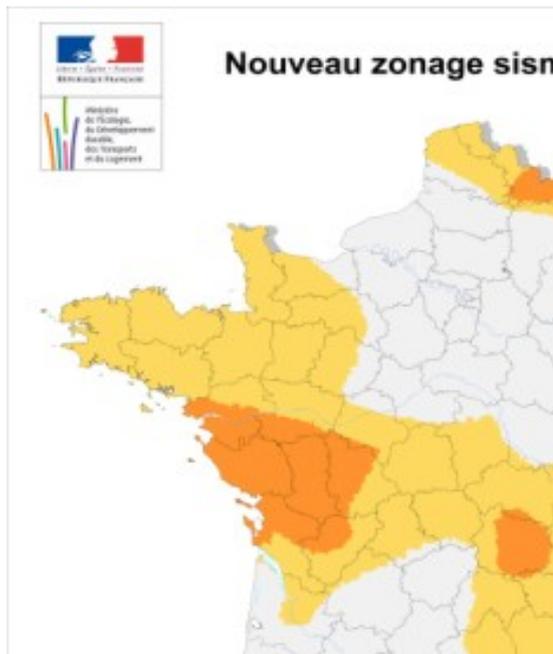


Séismicité régionale

La géologie régionale du Massif Armoricain est marquée par 2 failles majeures, actives.

- Le Cisaillement Nord Armoricain (CNA)
- Le Cisaillement Sud Armoricain (CSA), plus actif.

Le zonage en tient compte



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

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

Séismicité régionale

Séisme d'Hennebont 30 sept 2002

8h44 heure locale

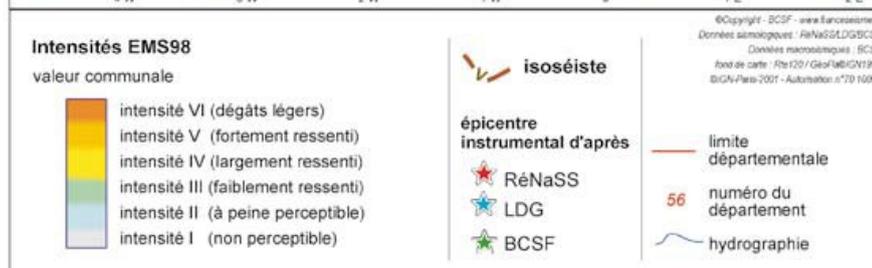
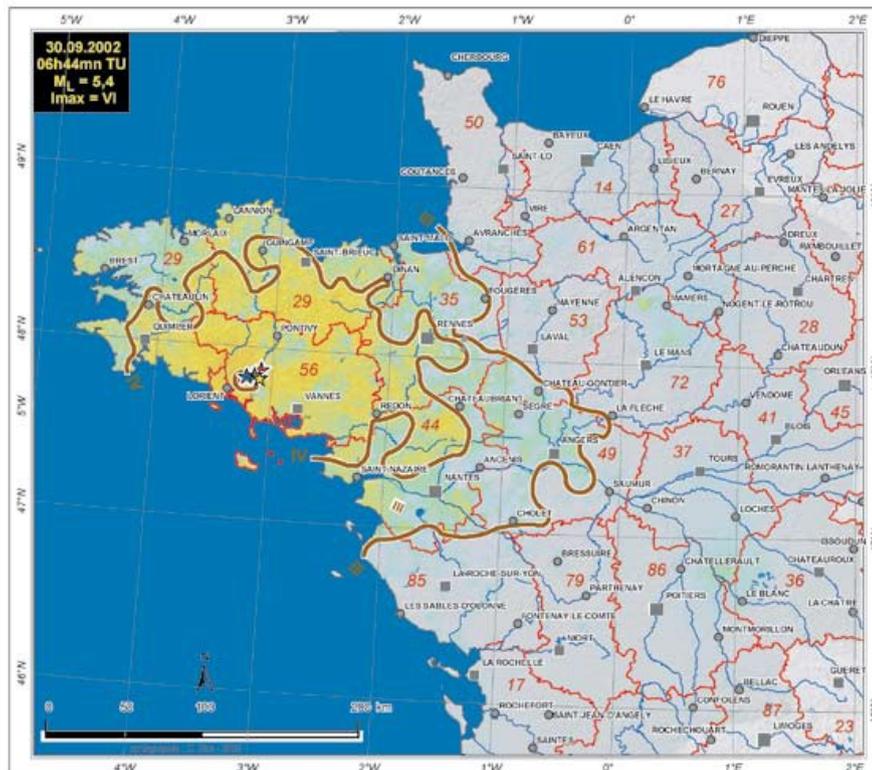
$M_L = 5,4$ à $5,7$

MSK = VI

CSA, 12km prof surface
faille 3 à 4 km,
déplacement 15cm

Séisme + important à ce
jour en France
métropolitaine depuis
1996 (St Paul de
Fenouillet, $M_L = 5,6$)

Réplique 12h06 locale,
 $M_L = 4,1$



Liberté - Égalité - Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

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

Séismicité régionale



MSK = VI, dégâts légers sur Hennebont

Vitres brisées centre culturel d'Inzinzac-Lochrist

Plusieurs cheminées tombées (Languidic),
nombreuses fissures relevées lycées Colbert ou
Marie Lefranc à Lorient, église de Grand champ

On note une amplification du signal sur Lorient (effet
de site dû à l'aménagement sur ancien marais)

La liquéfaction des sols

Définition :

Sous l'action de sollicitations, le sol saturé perd toute résistance et s'effondre.

Conditions :

- Sol saturé (gorgé d'eau)
- sol lâche (faible densité et résistance)
- bien classé (granulométrie étroite, homométrique) = sables fins, $C_u = D_{60}/D_{10} < 15$
- faible résistance au cisaillement, aux pressions interstitielles

Les sollicitations peuvent être statique (surcharge, sables mouvants) ou dynamique, vibratoire (séisme, fonçage palplanches)

La liquéfaction des sols

Dans le domaine sismique, la liquéfaction ne constitue qu'une partie du comportement dynamique des sols.

- tassements
- déplacements

Il faut donc connaître les propriétés de déformabilité des sols, et l'amortissement (capacité à dissiper l'énergie) pendant le séisme



Effets de la liquéfaction



Effets sur fondations superficielles

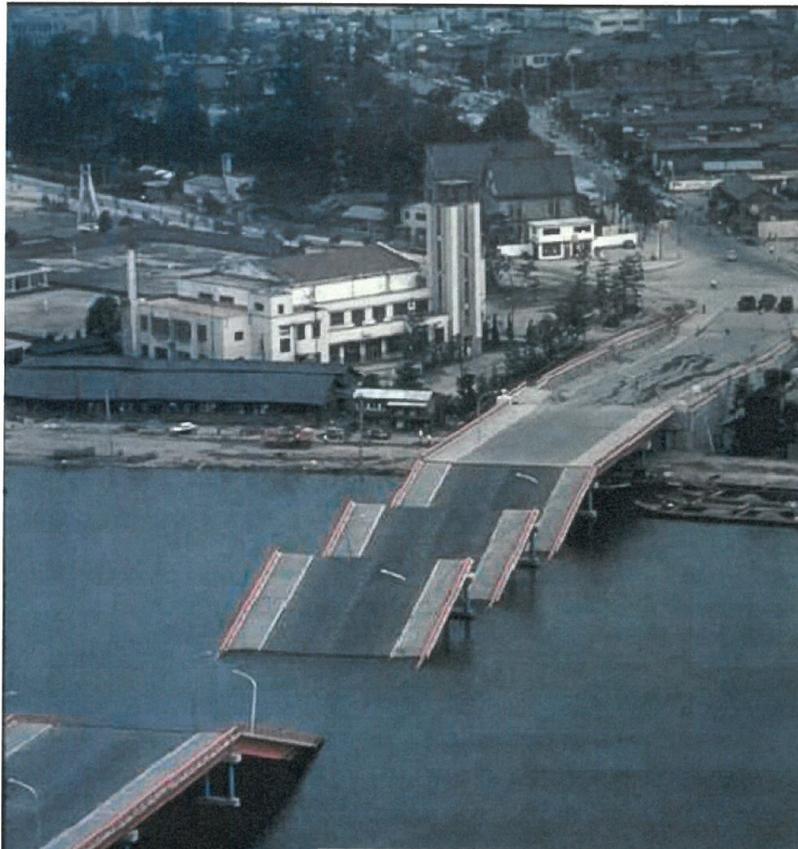
Séisme de Niigata 1964,
Quartier de Kawagishi-Cho

$M_L = 7,5$



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

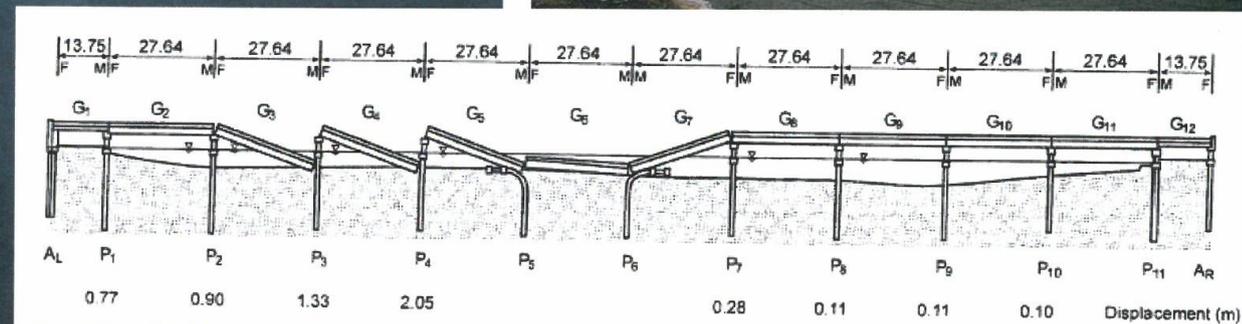
Effets de la liquéfaction



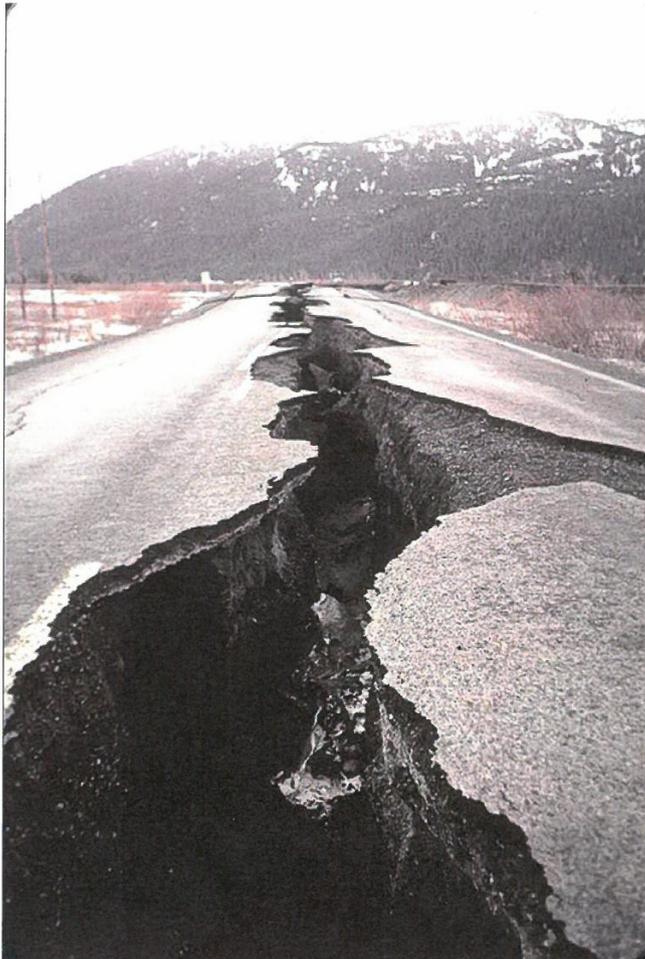
Fondations profondes

Séisme de Niigata 1964
Pont Showa
sur la rivière Shinano

$M_L = 7,5$



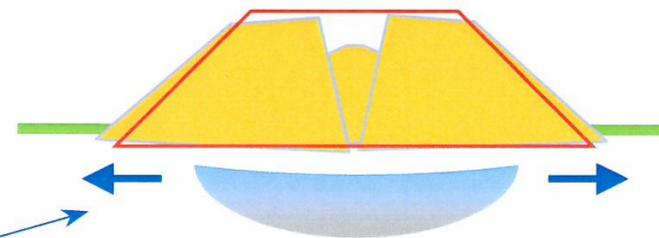
Effets de la liquéfaction



Séisme d'Alaska 1964

Remblais routiers

$M_L = 9,2$



Liquéfaction du sol de fondation

Effets de la liquéfaction

Digues



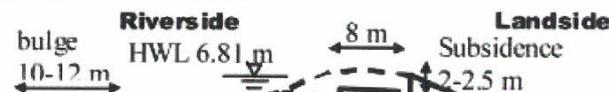
Tokachi-Oki, Japon, 2003



Bhuj, Inde, 2001



Kushiro, Japon, 1993

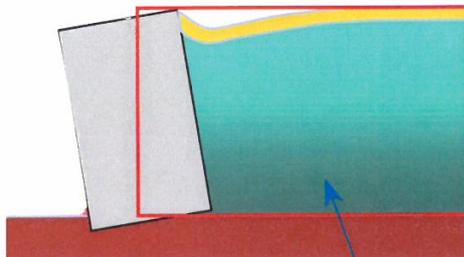


Effets de la liquéfaction

Séisme de Hyogoken-Nambu (Kobe) 1995

$M_L = 7,3$

Murs
de quai



Liquéfaction
du terre-plein

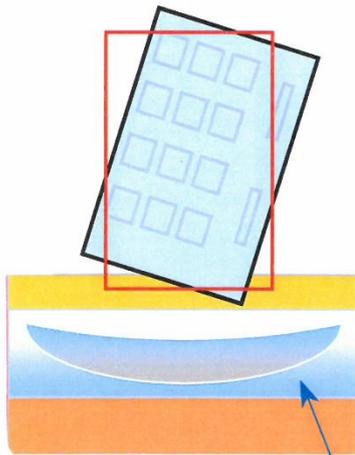


Effets de la liquéfaction

Séisme de Cocali (Adapazari) 1999 Turquie $M_L=8,2$



Fondations superficielles



Liquéfaction du sol de fondation



Effets de la liquéfaction

Liquefaction and Tsunami

Evidence of Liquefaction can be seen before the tsunami struck

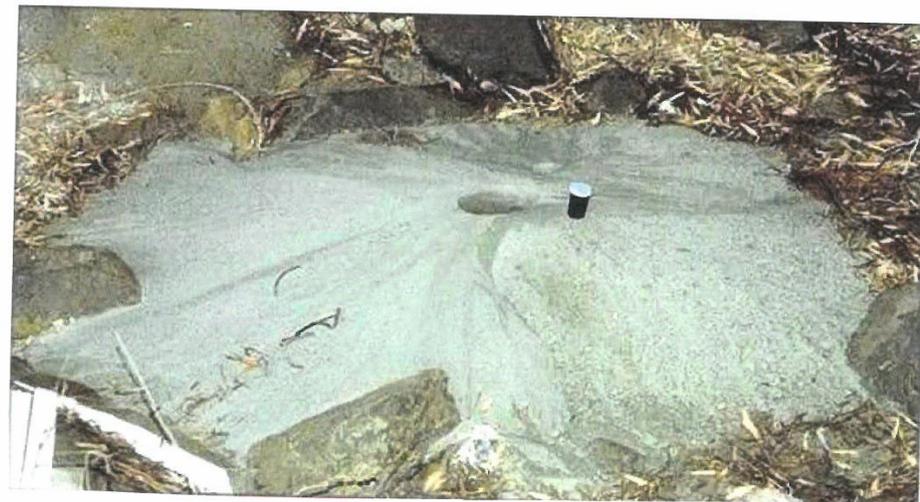
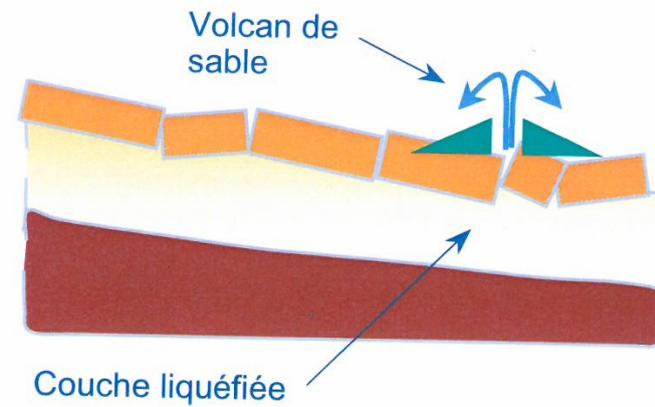
Natori, Miyagi Prefecture From Kyodo News Helicopter

(4/19 Same place)

14ARC 2011/5/24 98 98

Séisme de Tohoku, Japon 2011 $M_L = 9$, d'après Kazama (2011)

Effets de la liquéfaction



Essais spécifiques

Des propriétés dynamiques des sols

Caractéristiques de **résistance** :

- résistance au cisaillement non drainée c_u pour les sols cohérents,
- sinon, résistance au cisaillement **cyclique** non drainé $t_{cy,u}$,

De la liquéfaction des sols

La liquéfaction d'un sol saturé sans cohésion pendant le mouvement sismique désigne :

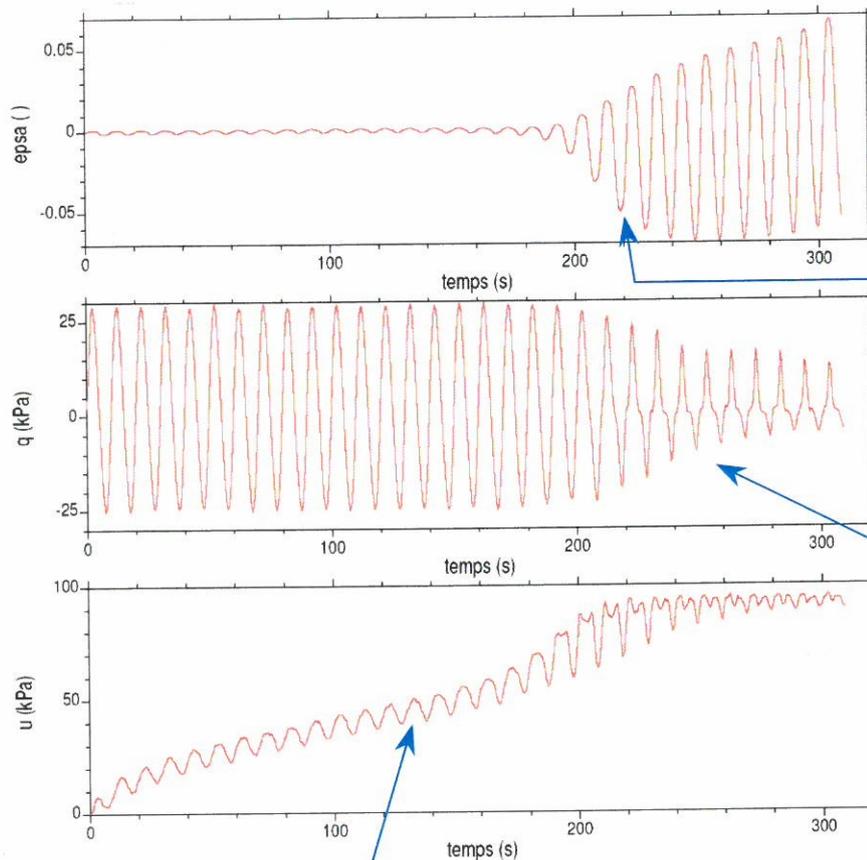
- la diminution de la rigidité du sol,
 - et/ou la diminution de sa résistance au cisaillement,
- dues à l'augmentation de la pression de l'eau interstitielle et susceptibles de produire :
- des déformations permanentes significatives (tassements, glissements),
 - voire un quasi-annulation des contraintes effectives (étalements).

Définitions de l'Eurocode 8 NF EN 1998-5 § 3.1 § 3.2 § 4.1.4

Essais spécifiques

Sable

Courbes d'un essai triaxial cyclique



Accumulation de la pression interstitielle au cours des cycles

Laboratoire CETE Méditerranée

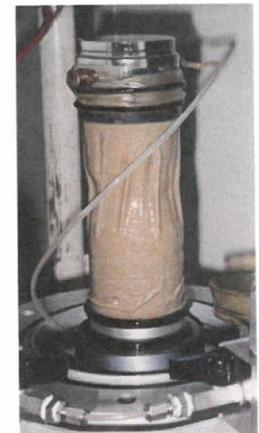
Presse triaxiale cyclique

Entrée en grandes déformations

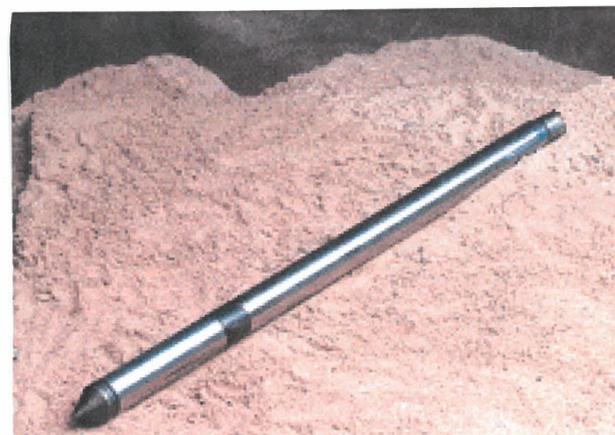
Contrainte de cisaillement cyclique



Éprouvettes d'essais

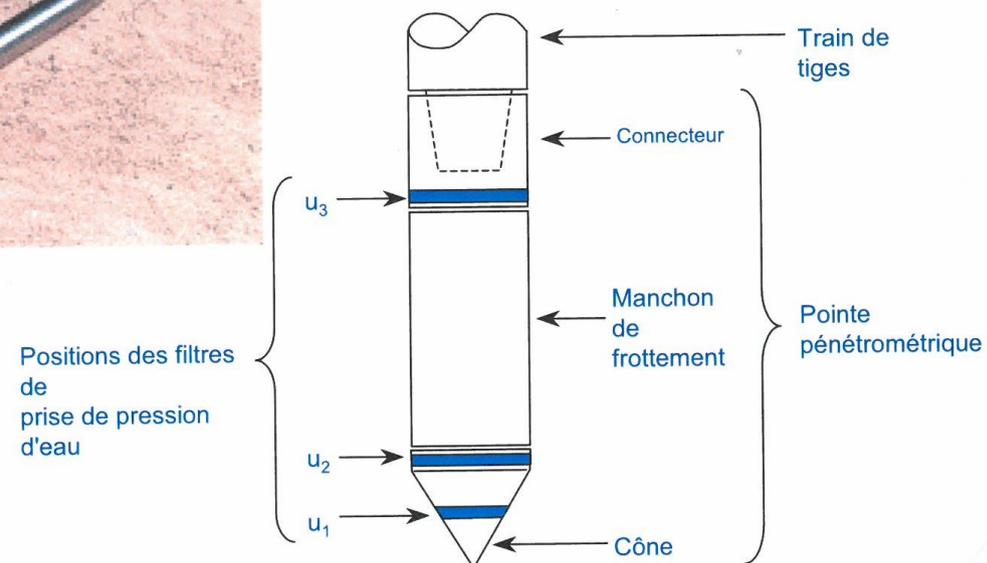


Essais spécifiques



Pointe d'un piézocône

Pénétrromètre CPTu



Positions des filtres de prise de pression d'eau

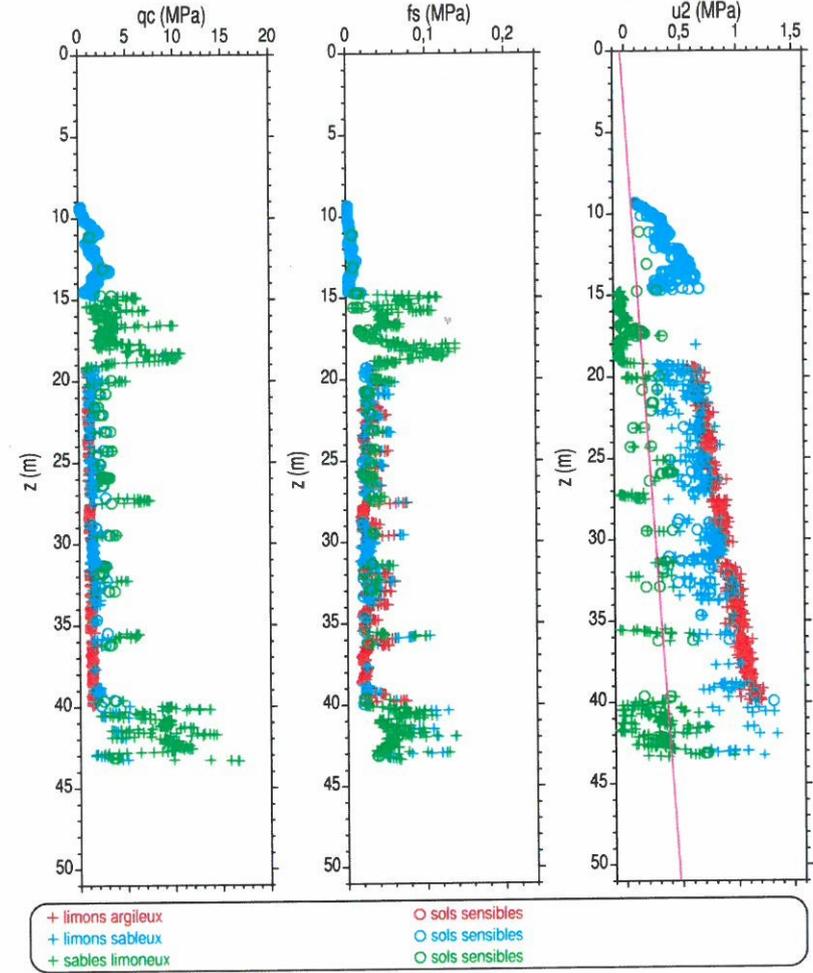
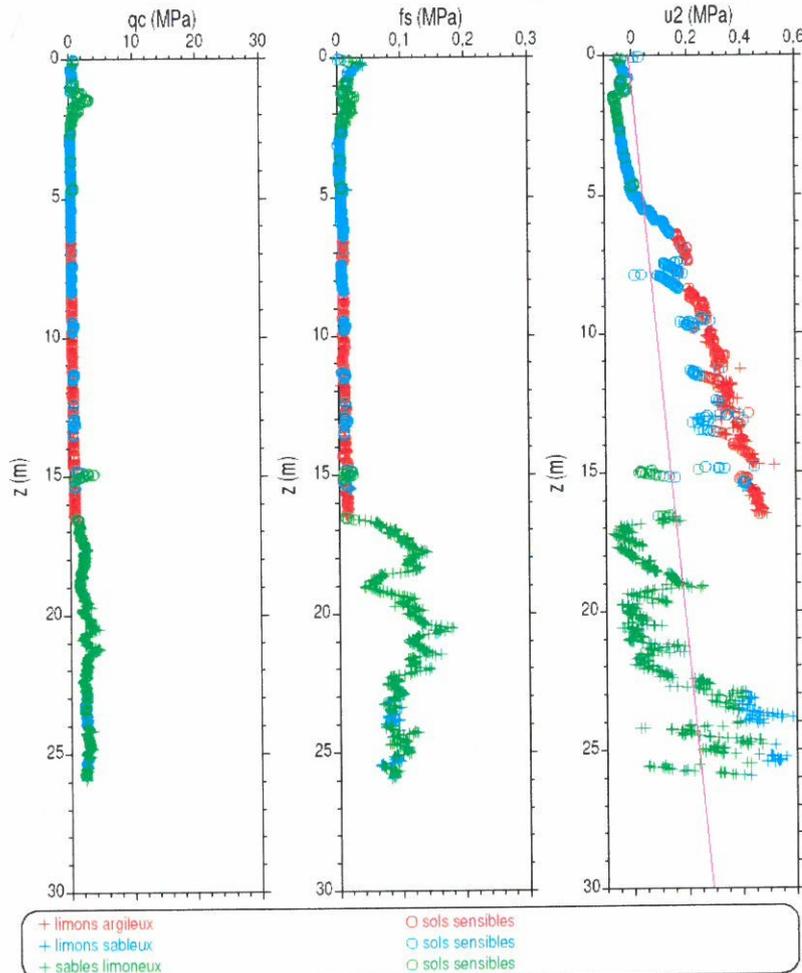
Sondage au pénétrromètre statique en Baie de Mont St Michel

Essais spécifiques

Coupe pénétromètre statique CPTu

Site en Turquie

Site en France



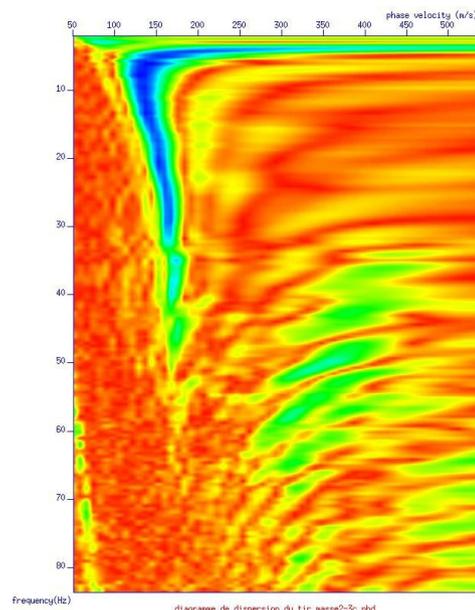
Ministère
de l'Écologie,
du Développement
durable
et de l'Énergie

Sables **Limons** **Argiles**

Essais spécifiques

Mesure des ondes de cisaillement sur les 30 premiers mètres Vs30 (Ec8). Deux méthodes :

- mesure en forage (Cross Hole)
- mesure par inversion des ondes de surface (MASW)



Parades

La liquéfaction concerne surtout des sites en milieu côtier et des sols sableux qui constituent des dépôts récents (estuaires).

Elle concerne aussi tous les types de constructions :

- fondations
 - habitations, bâtiment
 - ouvrages d'art,
- ouvrages en terre
 - soutènements,
 - barrages,
 - remblais,
 - digues,
 - quais,



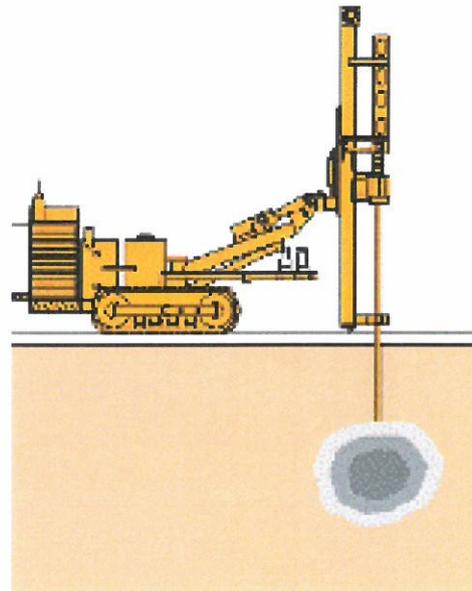
Parade : amélioration de sols

Compactage

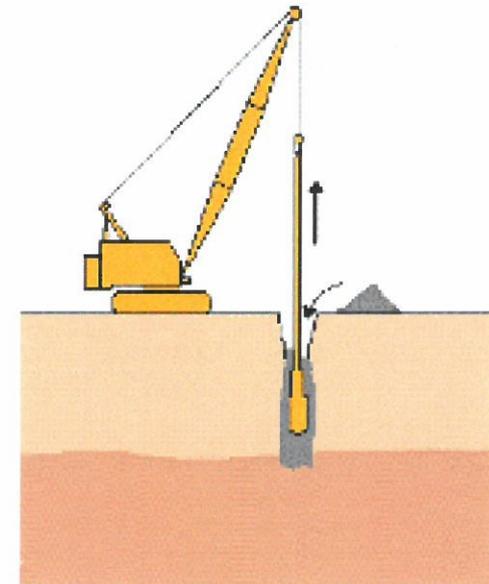


- densifier le sol
- augmenter sa résistance
- le confiner
- le drainer

Traitement



Renforcement

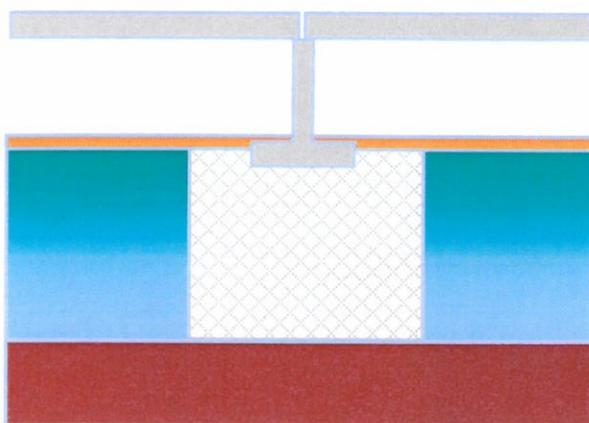


Compactage dynamique
Injection
Jet grouting
Colonne ballastées
Vibro-flotation
Drainages
Etc.

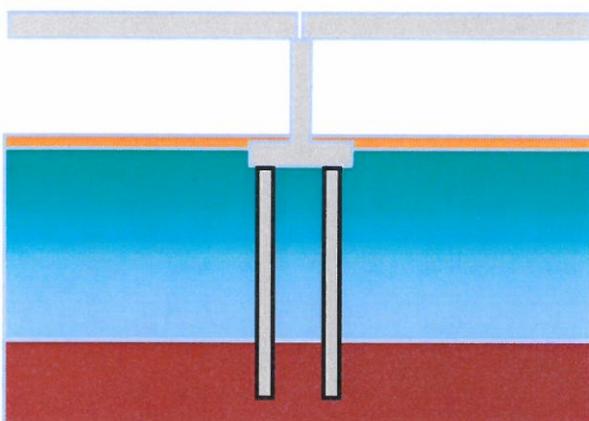


Parade : amélioration de sols

Traitement du sol

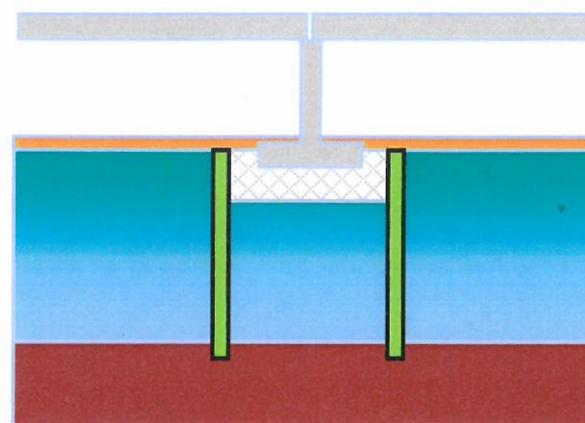


Pieux renforcés

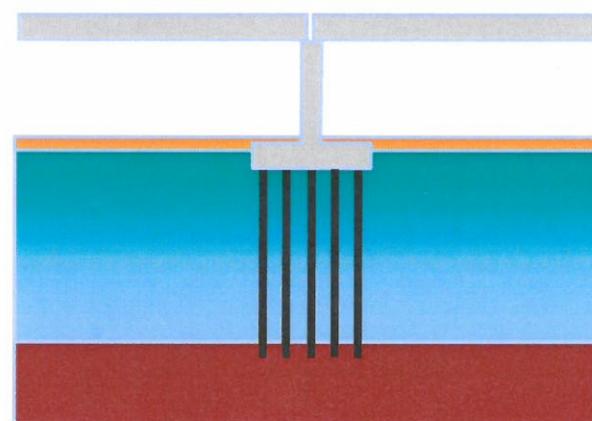


Fondations

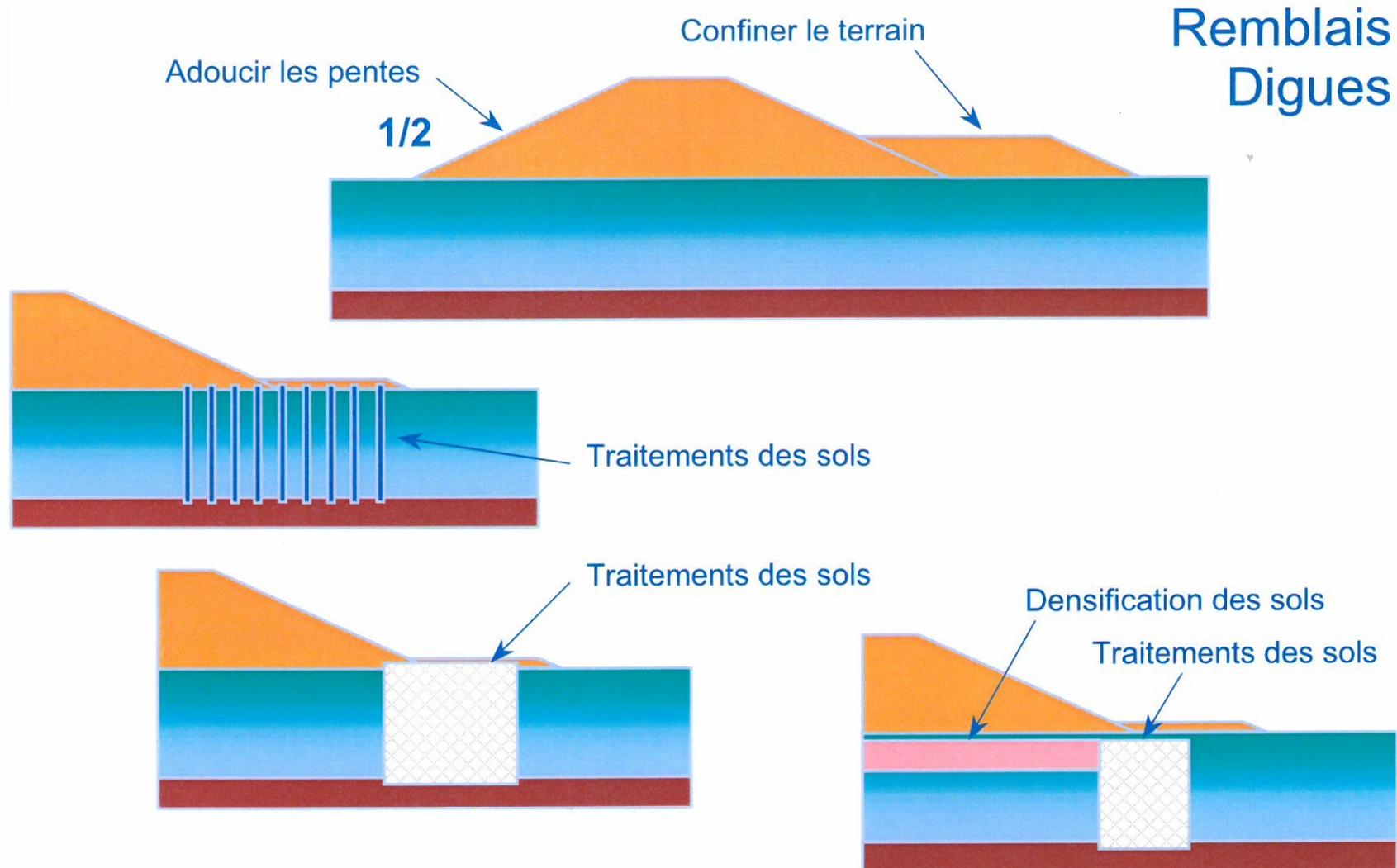
Parois traitées



Massif de pieux



Parade : amélioration de sols



Conclusions

La liquéfaction est un mécanisme de rupture extrême qui advient dans des sols peu consistants, saturés et pendant des mouvements sismiques forts.

Nécessité de croiser les données provenant de différents types d'essais (laboratoire, CPTu, V_s et autres).

Dans l'avenir, il conviendra d'améliorer la caractérisation des sols intermédiaires « sables-argiles » (silt).

Adapter la conception de l'ouvrage et bannir certaines techniques de construction

Recourir à des méthodes de traitement et/ou de renforcement des sols.

