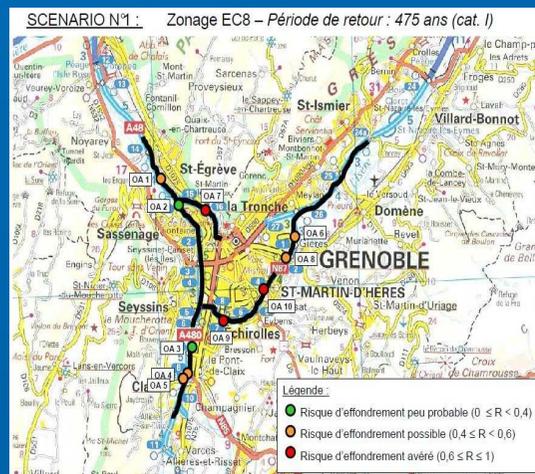
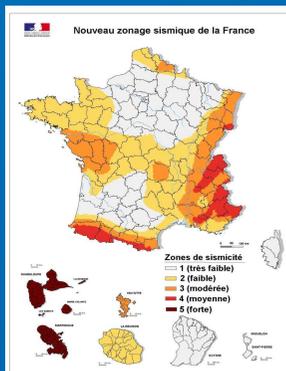


# Evaluation de la vulnérabilité sismique de 10 ouvrages stratégiques de l'agglomération Grenobloise à l'aide de l'outil Sismoa dans le cadre de l'exercice de crise Richter 38



D. Davi – CETE Méditerranée  
A. Ballière – CETE de Lyon  
Mercredi 29 juin 2011



IFSTTAR



# Sommaire

- Éléments de contexte et objectifs
- Choix des OA et scénarios sismiques envisagés
- Évaluation des vulnérabilités et études géologiques
- Risques associés aux différents scénarios
- Conclusions et perspectives



# Éléments de contexte et objectifs

## Généralités :

- Étude engagée par la DREAL Rhône-Alpes, portant sur l'évaluation et la réduction de la vulnérabilité au séisme de l'agglomération Grenobloise
- Volet « Infrastructures de transports routiers »
- Exercice RICHTER 38 prévu au printemps 2011

(simulation grandeur nature d'un séisme sur le secteur, en partenariat avec les différents services concernés par la gestion de crise : DREAL Rhône-Alpes, Préfecture, DGPR...)



# Éléments de contexte et objectifs

## Une équipe d'étude pluri-disciplinaire :

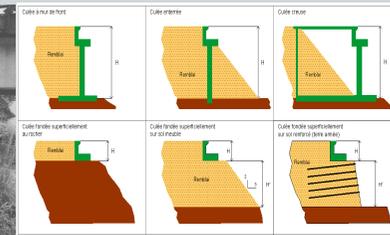
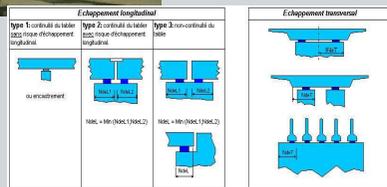
- Choix des ouvrages et correspondance DREAL :  
CETE Méd. / Service Vulnérabilité et gestion de crise
- Pilotage de l'étude OA, analyse et exploitation des résultats :  
CETE Méd. / DOA
- Investigations de terrain et calcul des vulnérabilités SISMOA :  
CETE Lyon / DOA + RRMS
- Validation des aspects géotechniques sismiques :  
CETE Méd. / Service géotechnique et mécanique des sols



# Éléments de contexte et objectifs

## Méthodes d'analyse retenues

- Evaluation de la vulnérabilité des ouvrages par l'approche Sismoa



- Approche sommaire qualitative développée par le RST (Sétra), essentiellement basée sur des critères géométriques et typologiques
- Repose sur l'expérience des séismes passés (*modes de ruine les + fréquents*)
- Pour chacun des éléments constitutifs de la structure  
(*tablier, piles, culées, fondations...*)
- Méthode validée, publiée sur le site du Sétra



# Éléments de contexte et objectifs

## Méthodes d'analyse retenues

- Evaluation des effets induits par l'approche Sisroute



- Approche en phase de développement par le RST, visant à évaluer les accélérations de déclenchement des effets induits (*liquéfaction, glissements de terrain, chutes de blocs...*) à partir de paramètres simples et accessibles (*propriétés de sol, âge des dépôts, niveau de saturation en eau, pentes des terrains, géomorphologie, taille des blocs*)

- Méthode non encore validée  $\Rightarrow$  résultats à valider/compléter impérativement par un géotechnicien à partir de l'expertise de terrain et/ou des données géologiques et géotechniques disponibles



# Choix des OA et scénarios sismiques envisagés

## Choix des ouvrages

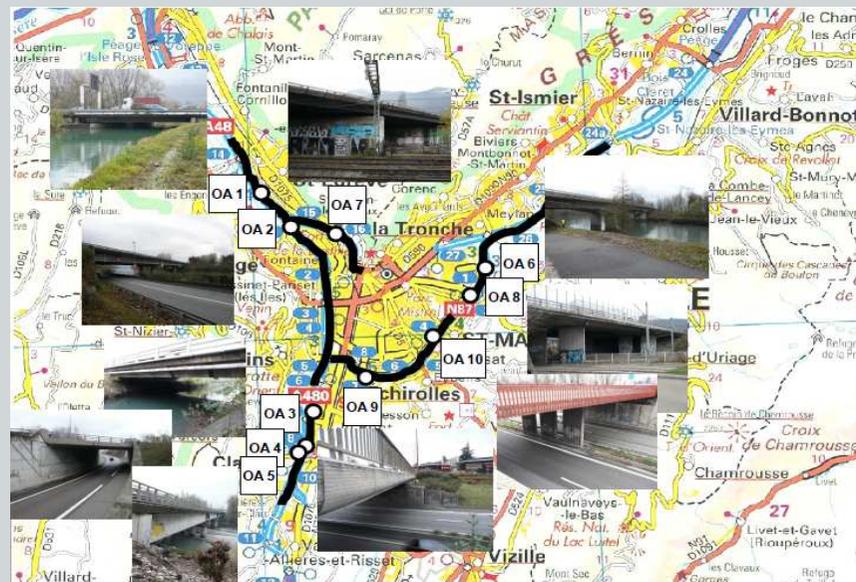
- Contraintes de délais et de budget  $\Rightarrow$  nécessité de limiter le champ de l'étude, en privilégiant pour cette 1ère phase :
  - Les éléments les + sensibles et les + emblématiques  $\Rightarrow$  **PONTS**
  - Un nombre d'ouvrages relativement réduit  $\Rightarrow$  **UNE DIZAINE**
  - Des ouvrages pour lesquels les archives sont disponibles et le maître d'ouvrage associé à l'étude  $\Rightarrow$  **RESEAUX et OA gérés par la DIR Centre-Est** (rocade Sud, A48 et A480)
- Une approche macro (ou zonale) privilégiant :
  - L'acheminement des secours vers le territoire de Grenoble
  - Les ouvrages pouvant aussi impacter d'autres modes de transport (réseau ferroviaire)  
*(plutôt qu'une approche micro -ou locale- favorisant la circulation au sein de l'agglo.)*



# Choix des OA et scénarios sismiques envisagés

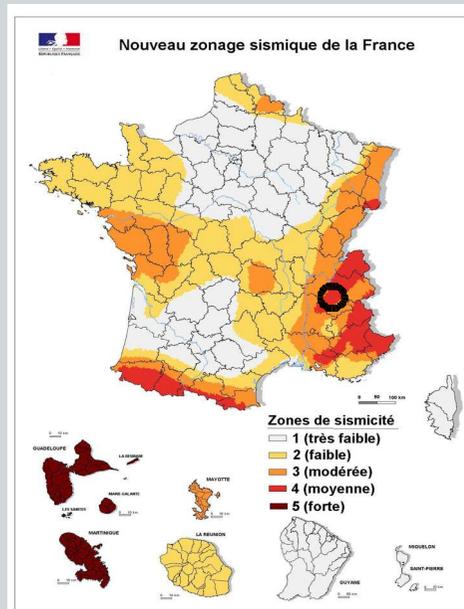
## Choix des ouvrages

- Au final, les caractéristiques des OA sélectionnés pour cette 1ère phase d'étude sont :
  - Franchissements des cours d'eau, permettant d'accéder à Grenoble (OA 1 à 6)
  - Impacts potentiels sur réseau ferroviaire (OA 7 et 8)
  - Franchissements de la RN87, évitant de couper la zone en 2 (OA 9 et 10)



# Choix des OA et scénarios sismiques envisagés

## 5 scénarios sismiques envisagés :

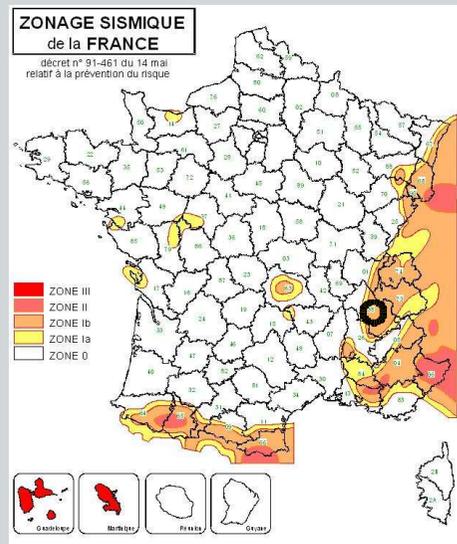


**Nouveau zonage sismique national (probabiliste) :**

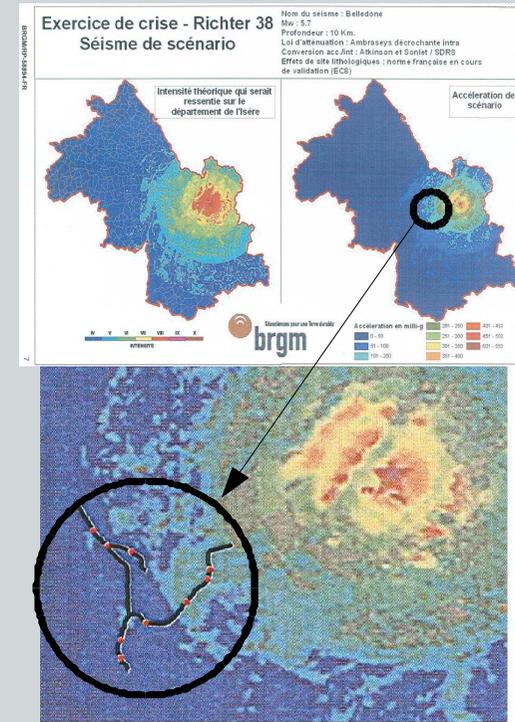
**Scénario 1a :** période de retour 475 ans ( $a_{vib} = 2,72 \text{ m/s}^2$ )

**Scénario 1b :** période de retour 800 ans ( $a_{vib} = 3,26 \text{ m/s}^2$ )

**Scénario 1c :** période de retour 1250 ans ( $a_{vib} = 3,81 \text{ m/s}^2$ )



**Ancien zonage PS92 (déterministe) :**  
**Scénario 2 :** Classe D ( $a_{vib} = 4,25 \text{ m/s}^2$ )



**Scénario de crise sismique Richter 38 – Source BRGM (séisme de Belledone, Mw = 5,7 ; prof. = 10 km)**

**Scénario 3 :**  $a_{vib} = 0,98 \text{ m/s}^2$  à  $1,96 \text{ m/s}^2$  au droit des OA

Chaque scénario prend en compte les effets de site (notamment géologique :  $S = 1,7$ ) et les effets induits (liquéfaction)



# Évaluation des vulnérabilités et études géologiques

## Démarche adoptée pour l'évaluation des vulnérabilités

### 1. Consultation des dossiers d'archives (District de Comboire – DIR CE)

N°	IDENTIFIANT	NOM DE L'OUVRAGE	Nb boîtes	N° boîte et carton	Autre	Commentaires
1	N000120C	PONT DE A48 SUR VENCE1/RU			1 dossier	à retourner rapidement
2	N000140E	PONT DE A 480 AMONT+AVAL sur Isère/Piste Cyclable	1	1 boîte extraite du carton 1/19	Plans+Ndc réparation OA aval retirés de la boîte 3 du carton 16/19 - plans+Ndc réparation OA amont retirés de la boîte 3 du carton 8/19	
3	N000230C	PONT DE A 480 PH5 sur canal EDF COMBOIRE	1	1 boîte du carton 3/19		
4	N000560C	PI DEV N 85 PONT DE CLAIX/VC	2	Boîte 4 du carton 15/19		l'autre boîte était posée sur le sol
5	N000240E	PONT DE A480 SUR DRAC1/TORRENT	2	Boîte 2 carton 4/19 + boîte 1 du carton 3/19		
6	N000450E	PONT DE LA RN 87/SUR L'ISERE	3	Boîtes 1, 2 et 3 du carton 7/19	1 carton avec les docts empruntés puis rendus par Concrete	
7	N000110D	PONT DE PIQUE-PIERRE SUD+NORD RN 75 SNCF/PAS.PIETONS	1	Boîte 2 du carton 17/19		
8	N000430D	PONT DE LA RN 87/ VOIE FERREE	1	Boîte 2 du carton 6/19		
9	N000380C	PONT DES ETATS GENERAUX	1	1 boîte sans n° extraite du carton 5/19		Manque le dossier technique dans les archives consultées
10	N000400D	PONT AV DULCIE SEPTEMBER	3	3 boîtes extraites du carton 0/19		

nb boîtes empruntées : 15

- Documents d'exécution (*coffrages, notes d'hypothèses*)
- Marchés et documents de travaux / renforcement
- Inspections détaillées : classe IQOA (*aspects « structure » uniquement*)



# Évaluation des vulnérabilités et études géologiques

## Démarche adoptée pour l'évaluation des vulnérabilités

### 2. Pré-remplissage des fiches Sismoa

- Définition des données à confirmer in situ
- Définition des données manquantes (*partielles ou totales pour chaque OA*)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	V <sub>max</sub>	V <sub>max</sub>	V <sub>max</sub>	V <sub>max</sub>	V <sub>max</sub>	V <sub>max</sub>	V <sub>max</sub>	V <sub>max</sub>	V <sub>max</sub>	V <sub>max</sub>	V <sub>max</sub>
2	0,65	-	0,10	0,27	-	0,18	-	0,50	0,30	0,27	-
86-88	V <sub>max</sub> = 1,00										
89	A12: Type d'ouvrage										
90-91	NOMBRE DE TRAVÉES DE L'OUVRAGE: 1										
92-93	V <sub>max</sub> = 0,40										
94-95	A13: Classe IQOA										
96-97	Indiquer la classe IQOA de l'ouvrage établie lors de la dernière inspection. Détails Pédoupe.										
98-99	V <sub>max</sub> = 0,50										
100-101	V <sub>max</sub> = 0,65										
102-103	INDICE DE VULNÉRABILITÉ VIBRATOIRE										
104-105	V <sub>max</sub>	V <sub>max</sub>	V <sub>max</sub>	V <sub>max</sub>	V <sub>max</sub>	V <sub>max</sub> = 0,18					
106-107	0,65	-	0,10	0,27	-						
108-109	INDICES DE RISQUE										
110-111	Risque vibratoire										
112-113	Indiquer l'accélération au sol en indiquant les éventuelles dérivées de site										
114-115	R <sub>0,10</sub> = 2,10 m/s <sup>2</sup> ; V <sub>0,10</sub> = 0,10 ; R <sub>0,27</sub> = 0,27										
116-117	Indiquer l'accélération critique de liquéfaction										
118-119	R <sub>0,50</sub> = 5 m/s <sup>2</sup> ; V <sub>0,50</sub> = 0,50 ; R <sub>0,00</sub> = 0,00										
120-121	Général / Tablier / Culées / Env / Enregistrer / Itinéraire										

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	V
1	V <sub>max</sub>	V <sub>max</sub>	V <sub>max</sub>	V <sub>max</sub>	V <sub>max</sub>	V <sub>max</sub>	V <sub>max</sub>	V <sub>max</sub>	V <sub>max</sub>	V <sub>max</sub>	V <sub>max</sub>	V <sub>max</sub>
2	0,65	-	0,10	0,27	-	0,18	-	0,50	0,30	0,27	-	-
3	A8: VULNÉRABILITÉ DES CULÉES											
4	A81: Types de culées (autres que les piliers de portiques)											
5-10	Vues schématisées des culées: CULÉE EN PIED, CULÉE EN TÊTE, CULÉE EN TÊTE ET EN PIED, CULÉE EN TÊTE ET EN PIED (avec échafaudage), CULÉE EN TÊTE ET EN PIED (avec échafaudage), CULÉE EN TÊTE ET EN PIED (avec échafaudage)											
11-12	A82: Vulnérabilité longitudinale											
13-14	Les culées se situent perpendiculairement aux axes de la chaussée. Elles sont munies d'un dispositif de retenue latérale.											
15-16	Parmi les culées à mur de front ou de face, indiquez la hauteur H (en m) de la culée de face:											
17-18	- Hauteur de la culée de face H (en m):											
19-20	- Hauteur de la culée de face H (en m):											
21-22	- Hauteur de la culée de face H (en m):											
23-24	- Hauteur de la culée de face H (en m):											
25-26	- Hauteur de la culée de face H (en m):											
27-28	- Hauteur de la culée de face H (en m):											
29-30	- Hauteur de la culée de face H (en m):											
31-32	- Hauteur de la culée de face H (en m):											
33-34	- Hauteur de la culée de face H (en m):											
35-36	- Hauteur de la culée de face H (en m):											
37-38	- Hauteur de la culée de face H (en m):											
39-40	- Hauteur de la culée de face H (en m):											
41-42	- Hauteur de la culée de face H (en m):											
43-44	- Hauteur de la culée de face H (en m):											
45-46	- Hauteur de la culée de face H (en m):											
47-48	- Hauteur de la culée de face H (en m):											
49-50	Quelle est la hauteur H définie sur les schémas ci-dessus ? H (m) = 6,00											
51-52	V <sub>max</sub> = 0,27											
53-54	A83: Vulnérabilité latérale											
55-56	Quelle disposition rencontre-t-on latéralement aux culées ?											
57-58	Culées munies d'un dispositif de retenue latérale.											
59-60	Culées munies d'un dispositif de retenue latérale.											
61-62	Culées munies d'un dispositif de retenue latérale.											
63-64	Culées munies d'un dispositif de retenue latérale.											
65-66	V <sub>max</sub> = 0,27											



# Évaluation des vulnérabilités et études géologiques

## Démarche adoptée pour l'évaluation des vulnérabilités

### 3. Investigations de terrain

une journée de visite - 3 agents (OA + Géotech.)

- Evolution structurelle éventuelle des OA (*butées, attelage*)
- Identifier d'éventuels glissements de terrain et de chutes de blocs possibles
- Levés complémentaires (*liés aux risques d'échappements d'appui*)
- Levé complet pour 1 OA (*pas de dossier d'ouvrage*) : Pont des Etats Généraux



# Évaluation des vulnérabilités et études géologiques

## Démarche adoptée pour l'évaluation des vulnérabilités

### 3. Investigations de terrain

une journée de visite - 3 agents (OA + Géotech.)

#### - Hypothèses complémentaires liées à l'environnement de l'ouvrage

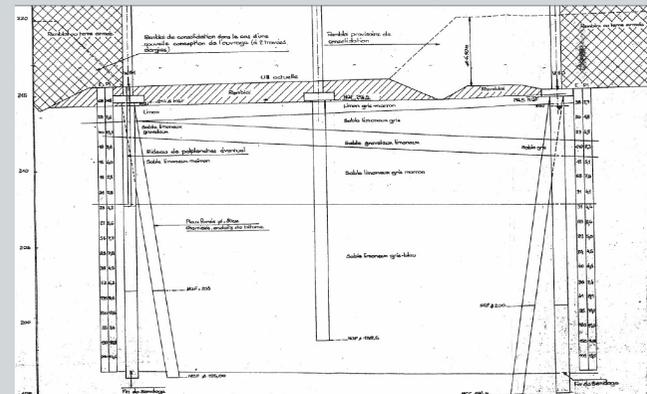
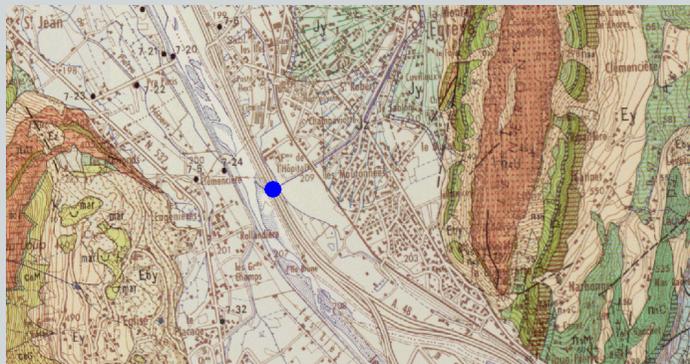
- *Éléments extérieurs assimilables à des butées*  
(ex : PH5 sur le canal de décharge EDF)
- *Nature/profondeur des fondations si absence de données*  
(ex : Pont des Etats Généraux)



# Évaluation des vulnérabilités et études géologiques

## Evaluation des effets géologiques

- Pour les aspects géotechniques : **quantité et qualité des renseignements très hétérogènes** : études des sols et des fondations, coupes de forages, résultats d'essais *in situ* (*pressiomètre, pénétromètre*) ou de laboratoire (*granulométrie*)
- Recherche bibliographique : **géologie locale, études géotechniques dans l'agglomération Grenobloise**
- **En parallèle à Sisroute**, analyse indépendante des données disponibles pour confirmer la pertinence de la méthode



# Évaluation des vulnérabilités et études géologiques

## Principaux résultats

OA n°	Nom OA	N°	itin.	Vuln. au phénomène vibratoire					Vuln. effets induits			Seuils effets induits		
				V <sub>géné</sub>	V <sub>tab</sub>	V <sub>culée</sub>	V <sub>pile</sub>	V <sub>vib</sub>	V <sub>liq</sub>	V <sub>gliss</sub>	V <sub>blocs</sub>	S <sub>liq</sub> (m/s <sup>2</sup> )	S <sub>gliss</sub> (m/s <sup>2</sup> )	S <sub>blocs</sub> (m/s <sup>2</sup> )
1	Pont de A48 sur Vence	120C	A48	0,65	0,10	0,27	--	0,18	0,50	0,90	0,20	2,06	aléa absent	aléa absent
2	Pont de l'A480 sur l'Isère	140E	A480	0,10	0,10	0,98	1,00	0,10	0,50	0,90	0,40	2,06	aléa absent	aléa absent
3	PH5 sur le canal de décharge EDF	230C	A480	0,40	0,10	0,28	--	0,11	0,50	0,90	0,20	2,06	aléa absent	aléa absent
4	P.I dév. de la N85 - Pont-de-Claix	560C	A480	0,24	--	0,86	--	0,21	0,50	0,90	0,70	2,06	aléa absent	aléa absent
5	Pont sur le DRAC	240E	A480	0,40	0,34	0,61	0,42	0,24	0,10	0,80	0,30	aléa absent	aléa absent	aléa absent
6	Pont de la RN87 sur Isère	450E	RN87	0,40	0,10	0,50	0,21	0,20	0,10	0,80	0,10	2,06	aléa absent	aléa absent
7	Pont de Piquepierre	110D	A48	0,65	0,25	0,86	0,91	0,59	0,50	0,90	0,20	2,06	aléa absent	aléa absent
8	Pont de la RN87 sur voie ferrée	430D	RN87	0,44	0,10	0,42	0,35	0,19	0,10	0,80	0,20	2,06	aléa absent	aléa absent
9	Pont des Etats Généraux	380C	RN87	0,40	0,10	0,05	--	0,04	1,00	1,00	0,20	2,06	aléa absent	aléa absent
10	Pont de l'av. Dulcie September	400D	RN87	0,40	0,10	0,04	0,35	0,14	1,00	1,00	0,20	2,06	aléa absent	aléa absent



# Évaluation des vulnérabilités et études géologiques

## « Zoom » sur quelques ouvrages particuliers

	OA2	OA7	OA9	OA10
				
<b>Année constr.</b>	1967 (renforcement sismique en 2003-2004)	1967	1985	1984
<b>Descriptif sommaire</b>	VIPP 3 travées $L_{tot} = 145$ m Fond. semi-prof	Multipoutres métal + hourdis béton 2 travées dissym Blocage pile centrale +biais $L_{tot} = 73,3$ m Fond. semi-prof.	Dalle précontrainte 1 travée $L_{tot} = 26,4$ m Fond. superficielles	Dalle armée 2 travées $L_{tot} = 26,4$ m Fond. superficielles
<b>Vulnérabilités identifiées</b>	Instabilité culées Rupture piles Instabilité fond. (liquéfaction)	Instabilité culées Rupture piles Instabilité fond. (liquéfaction)	Instabilité fond. (liquéfaction)	Instabilité fond. (liquéfaction) Rupture piles



# Risques associés aux différents scénarios

## Calcul des indices de risque (scénario 1a)

$$0 \leq R_{vib} = 0,703 \ln(a_{vib}/a_{crit\_vib}) + 0,5057 \leq 1$$

$$a_{crit\_vib} = 4,51 \exp(-2,28 \times V_{vib})$$

- $0 \leq R_{liq} = a_{liq} \times V_{liq} = (0,703 \ln(a_{vib}/a_{crit\_liq}) + 0,5057) \times V_{liq} \leq 1$
- $0 \leq R_{gliss} = a_{gliss} \times V_{gliss} = (0,703 \ln(a_{vib}/a_{crit\_gliss}) + 0,5057) \times V_{gliss} \leq 1$
- $0 \leq R_{bloc} = a_{bloc} \times V_{bloc} = (0,703 \ln(a_{vib}/a_{crit\_bloc}) + 0,5057) \times V_{bloc} \leq 1$

**SCENARIO N°1 : Zonage EC8 – Période de retour : 475 ans (cat. I)**

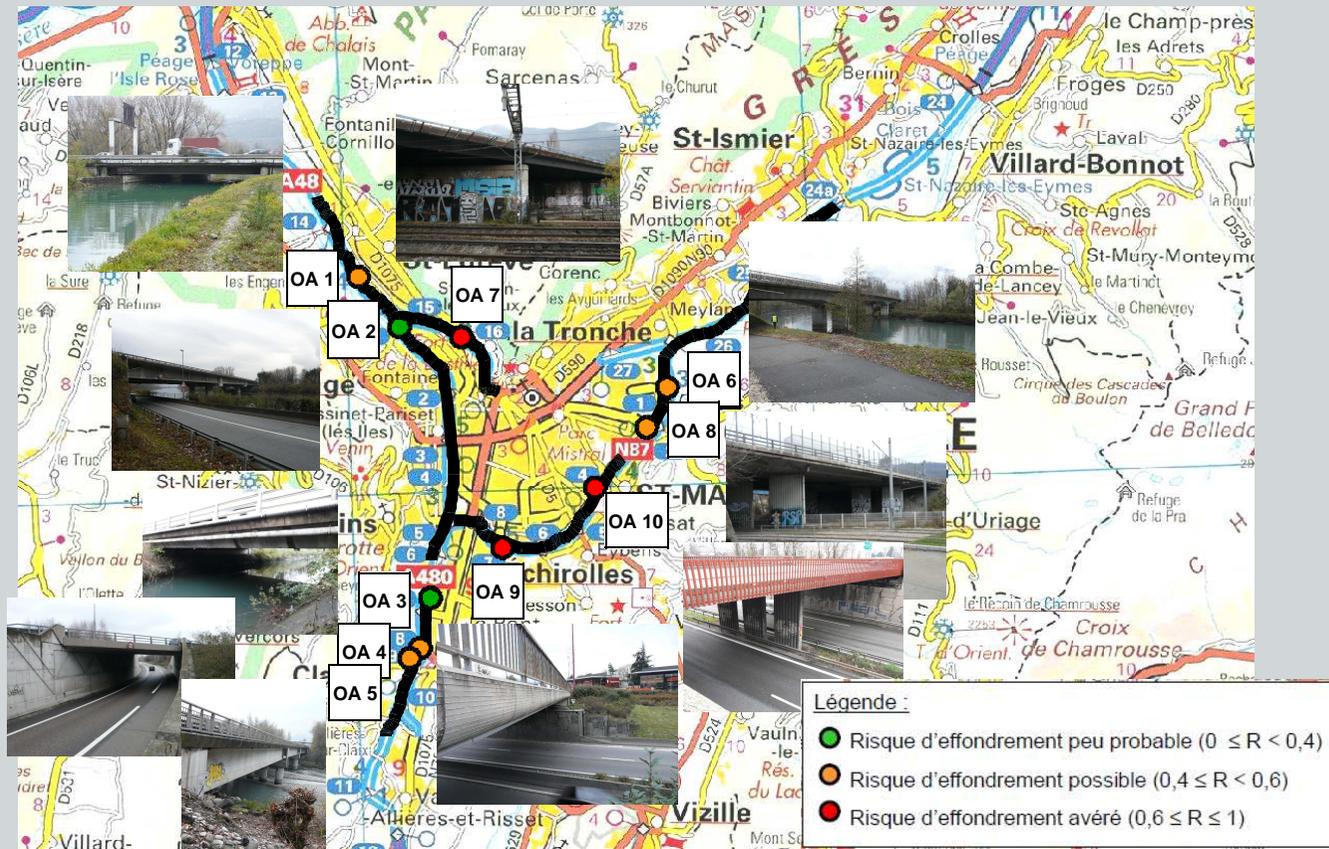
OA n°	Nom OA	N°	itin.	A <sub>vib</sub> (m/s <sup>2</sup> )	R <sub>vib</sub>	R <sub>liq</sub>	R <sub>gliss</sub>	R <sub>blocs</sub>	Niveau de performance OA	Défaillance pressentie
1	Pont de A48 sur Vence	120C	A48	2,72	0,43	0,35	0	0	Effondrement possible	Culées
2	Pont de l'A480 sur l'Isère	140E	A480	2,72	0,31	0,35	0	0	Effondrement peu probable	
3	PH5 sur le canal de décharge EDF	230C	A480	2,72	0,33	0,35	0	0	Effondrement peu probable	
4	P.I dév. de la N85 - Pont-de-Claix	560C	A480	2,72	0,48	0,35	0	0	Effondrement possible	Culées
5	Pont sur le DRAC	240E	A480	2,72	0,54	0	0	0	Effondrement possible	Culées, piles
6	Pont de la RN87 sur Isère	450E	RN87	2,72	0,47	0,07	0	0	Effondrement possible	Culées
7	Pont de Piquepierre	110D	A48	2,72	1,00	0,35	0	0	Risque d'effondrement avéré	Culées, piles
8	Pont de la RN87 sur voie ferrée	430D	RN87	2,72	0,45	0,07	0	0	Effondrement possible	Culées
9	Pont des Etats Généraux	380C	RN87	2,72	0,21	0,70	0	0	Risque d'effondrement avéré	Fondations (liquéfaction)
10	Pont de l'av. Dulcie September	400D	RN87	2,72	0,37	0,70	0	0	Risque d'effondrement avéré	Fondations (liquéfaction)



# Risques associés aux différents scénarios

## Cartographie des risques

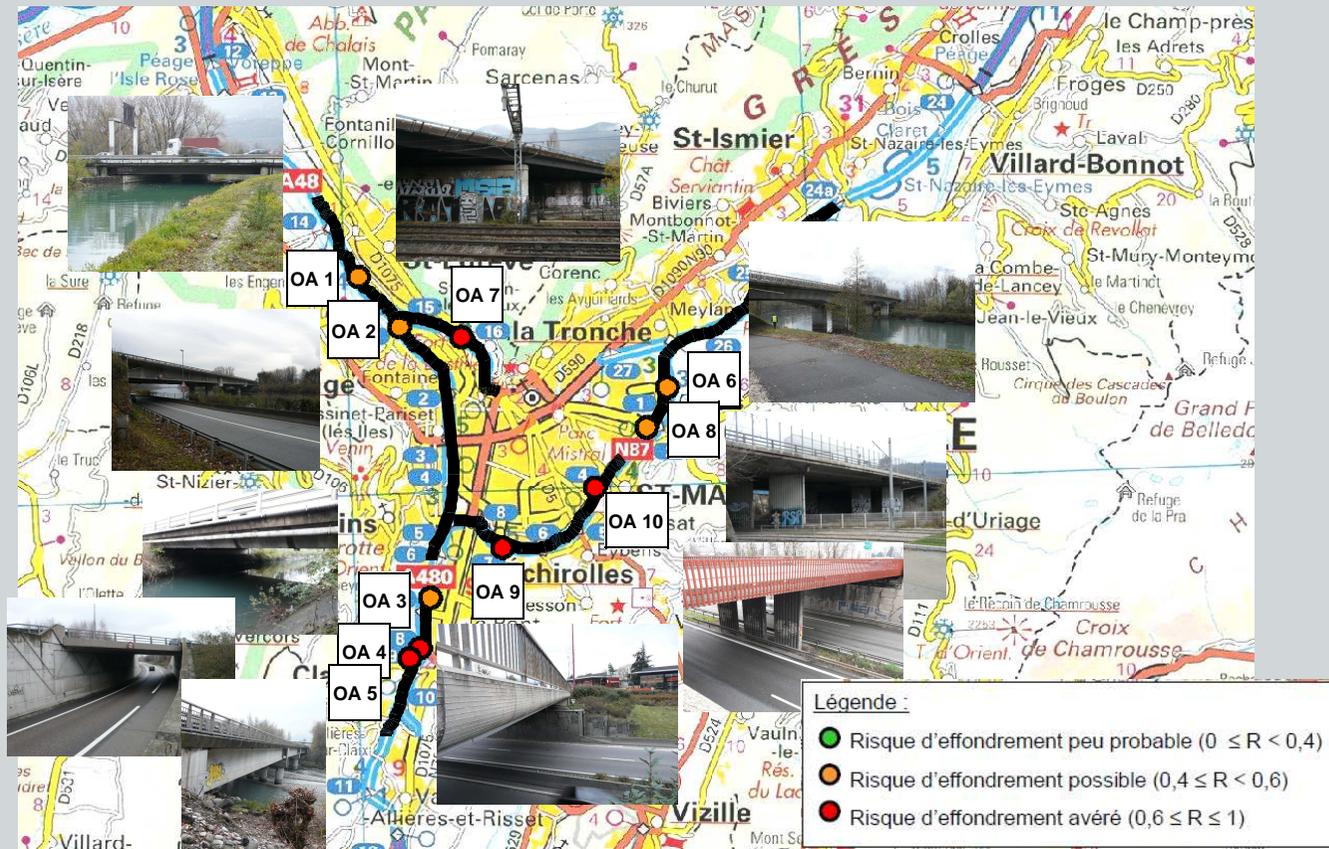
Scénario 1a : Nouveau zonage (EC8) – Période de retour 475 ans



# Risques associés aux différents scénarios

## Cartographie des risques

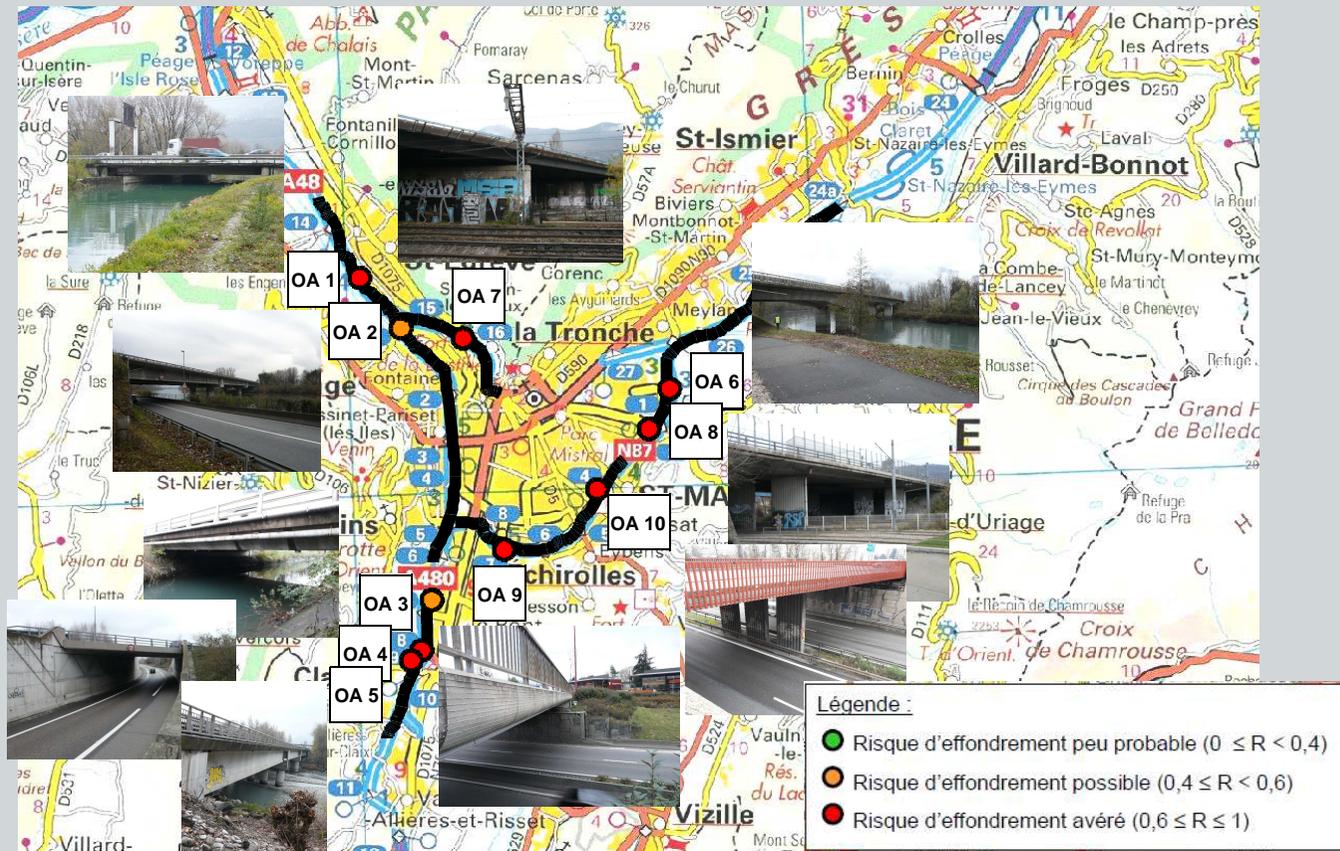
Scénario 1b : Nouveau zonage (EC8) – Période de retour 800 ans



# Risques associés aux différents scénarios

## Cartographie des risques

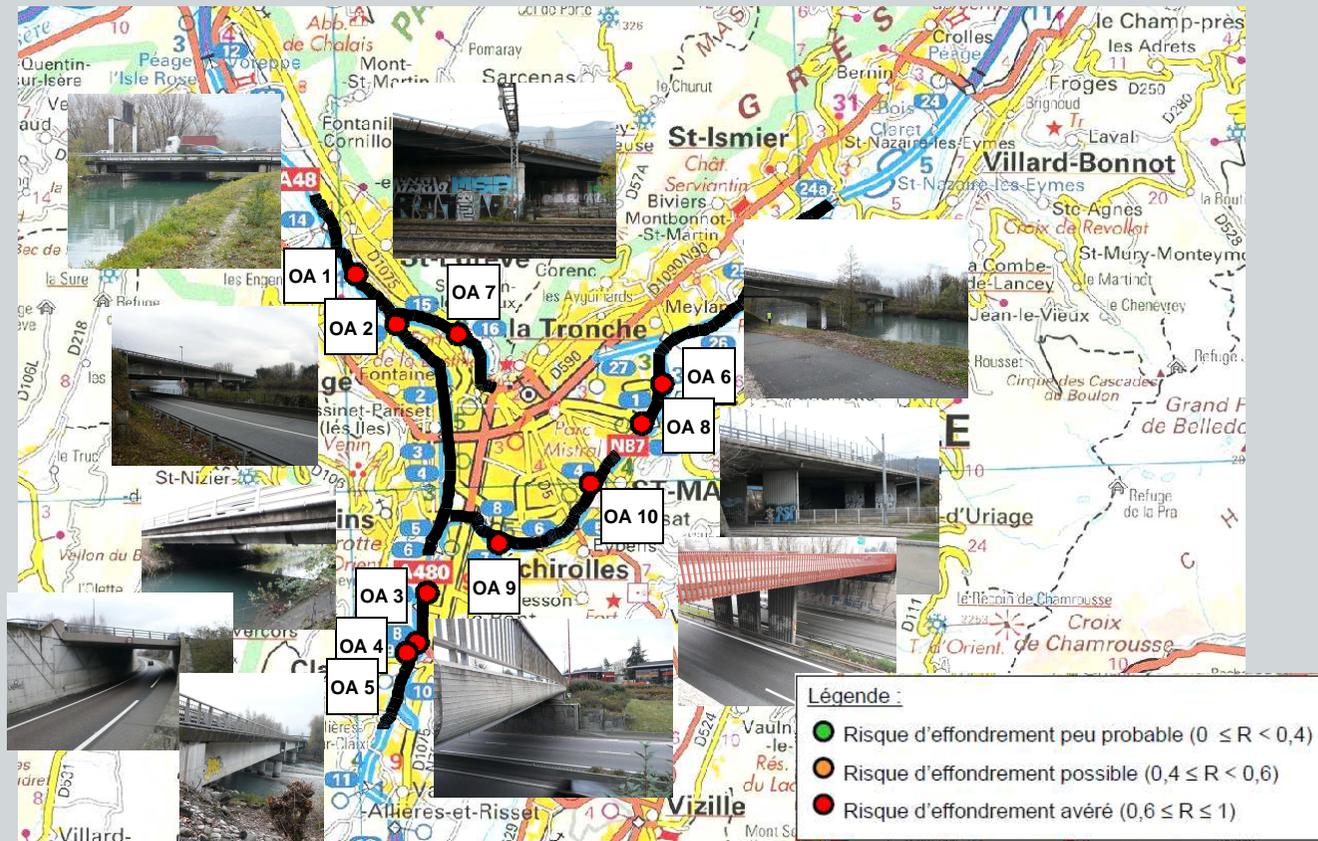
Scénario 1c : Nouveau zonage (EC8) – Période de retour 1250 ans



# Risques associés aux différents scénarios

## Cartographie des risques

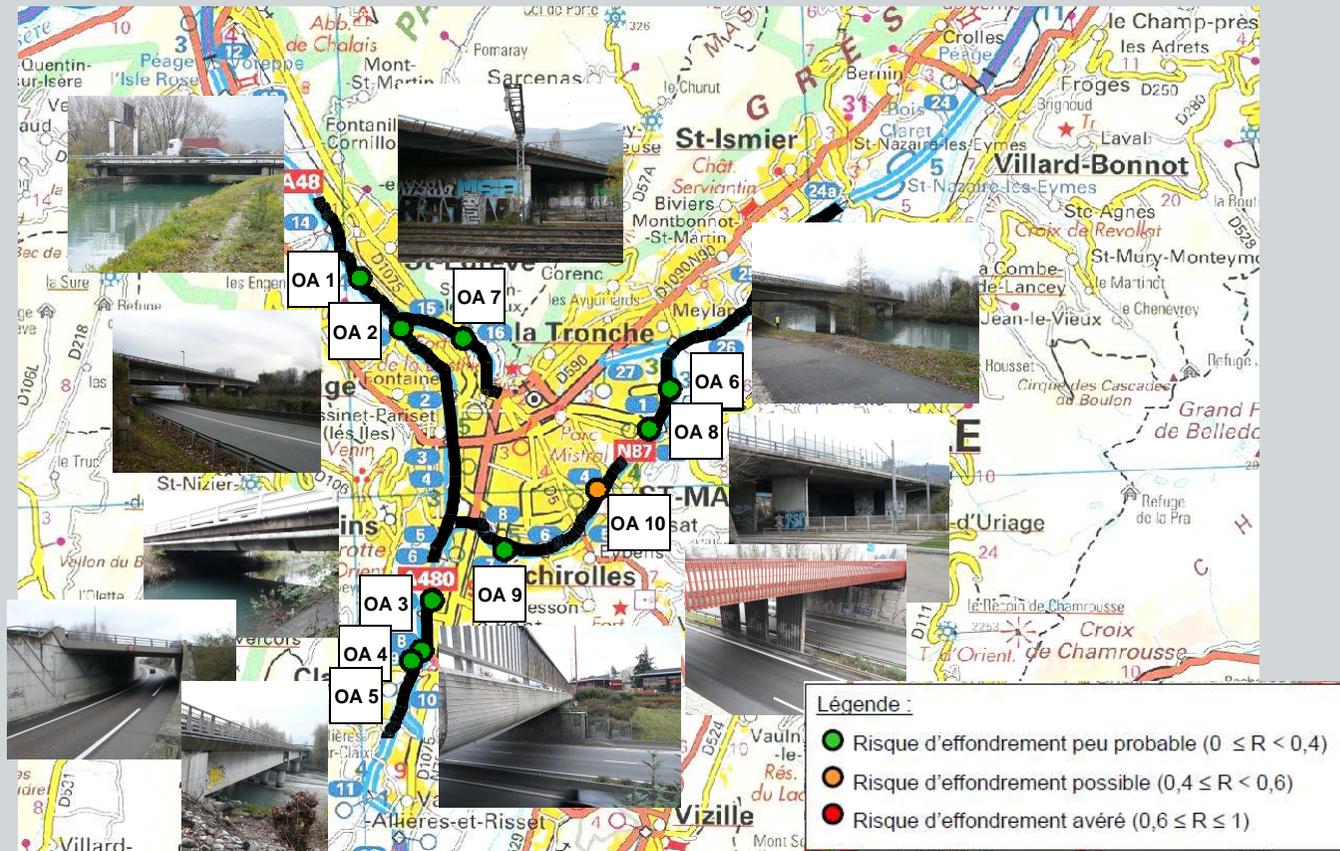
Scénario 2 : Ancien zonage (PS92) – Acc. dimensionnement classe D



# Risques associés aux différents scénarios

## Cartographie des risques

### Scénario 3 : Séisme exercice Richter 38 – Hypothèse haute



# Conclusions et perspectives (1/2)

L'analyse du risque sismique sur 10 ouvrages stratégiques de desserte de l'agglomération Grenobloise, menée à partir d'outils d'évaluation sommaire préliminaire (approche qualitative) conduit aux conclusions suivantes :

- **Vulnérabilité relative des OA globalement faible à moyenne, sauf :**
  - OA 7 : présomption de vulnérabilité assez élevée de la pile et des culées
  - OA 9 et 10 : présomption de vulnérabilité forte des fondations à la liquéfaction
- **Compte tenu du niveau d'aléa de la zone d'étude, ces vulnérabilités induisent des niveaux de risque très variables selon les scénarios envisagés :**
  - **Risque moyen pour le séisme de référence « conventionnelle » 475 ans selon nouveau zonage**
  - **Risque faible pour le séisme de scénario Richter 38 (épicerne éloigné)**
  - **Risque fort pour des périodes de retour 800 ans, 1250 ans selon nouveau zonage (cat. II et III) et pour le niveau de dimensionnement réglementaire équivalent selon l'ancien zonage (classes C et D)**
  - **Risque moyen à fort dans l'hypothèse du séisme de scénario Richter 38 recentré sur la zone d'étude**



## Conclusions et perspectives (2/2)

Une évaluation plus réaliste et complète du niveau de risque dans une perspective de gestion de crise ou une éventuelle campagne de renforcement nécessiterait :

- D'étudier davantage d'ouvrages en associant les autres maîtres d'ouvrages et gestionnaires (*CG38, communes, sociétés d'autoroutes, RFF...*)
- De s'intéresser aux autres types de structures : murs de soutènement, remblais de chaussée, bâtiments de grande hauteur proches... (*outils en phase de développement*)
- De fiabiliser l'étude du point de vue quantitatif :
  - Diagnostic détaillé de quelques OA
  - Caractérisation précise de l'aléa liquéfaction
  - Micro-zonage, localisation et quantification des effets de site





# Merci pour votre attention

