



Le projet SISMET

Une démarche d'évaluation préliminaire des risques sismiques sur les infrastructures routières urbaines et inter-urbaines dans un contexte de gestion de crise

Denis DAVI

Pôle « Réduction des risques sismiques et hydrauliques appliquée aux Ouvrages d'Art » - Cerema Méditerranée

VIABILITÉ HIVERNALE & RÉSILIENCE DES ROUTES FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Chambéry, 26 et 27 septembre 2022



ASSOCIATION MONDIALE DE LA ROUTE
COMITÉ FRANÇAIS



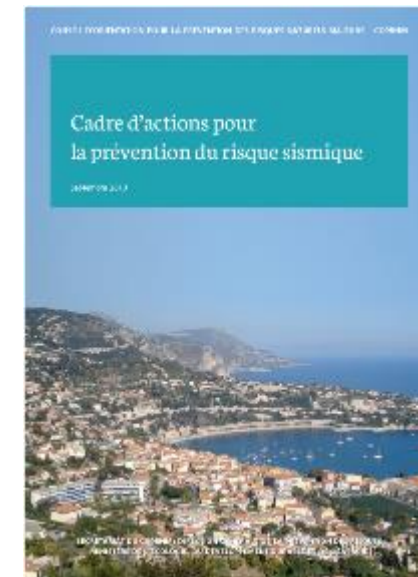
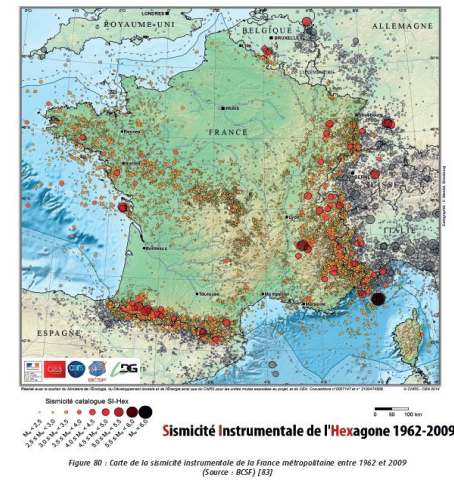
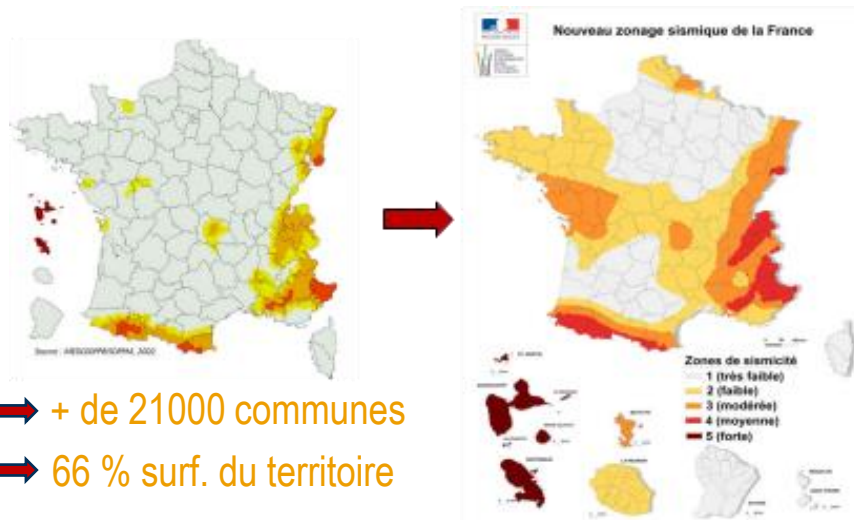
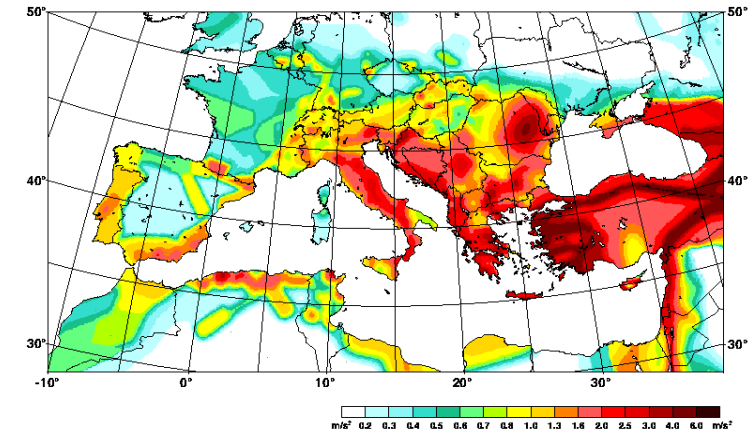
CHAMBÉRY 2026

SOMMAIRE

- Contexte et finalité
- Le montage du projet
- La démarche méthodologique développée
- Les applications opérationnelles
- Quelques éléments de conclusions

ÉLÉMENTS DE CONTEXTE

- La France : un pays de sismicité dite « modérée »
à titre de comparaison avec Aquila 2009 et Amatrice 2016 en Italie :
contextes comparables en termes d'intensités (M 6,3 - 300 morts),
mais fréquence d'évènements bcp + élevée...
- 2010 : Nouvelle réglementation sismique nationale ➔ nouveau zonage
- 2013 : CAPRiS (Cadre national d'Actions pour la Prévention du Risque sismique) appelant des déclinaisons territoriales (plans séisme régionaux ou départementaux)



5000 ➔ + de 21000 communes
17 % ➔ 66 % surf. du territoire

ÉLÉMENTS DE CONTEXTE

- Les infras routières : éléments déterminants de l'organisation des secours et de la gestion de crise en cas d'événement sismique :
 - Acheminement des secours (humains et matériels)
 - Accès aux victimes, évacuations...
 - Desserte des équipements stratégiques (hôpitaux, casernes...)
 - Reprise de l'activité



Source : Mission post-sismique Aquila
CETE Méditerranée (2009)



ÉLÉMENTS DE CONTEXTE

- Dans un contexte de moyens non extensibles, nécessité pour les maîtres d'ouvrages de :
 - Hiérarchiser les enjeux
 - Disposer d'outils de diagnostic/renforcement optimisés applicables aux ouvrages les plus critiques

➔ Finalité de la démarche SISMET

- Identifier les itinéraires prioritaires pour la gestion de crise
- Évaluer leur sensibilité aux aléas sismiques
- Définir une stratégie de durcissement pragmatique et efficiente dans un contexte de moyens limités

LE MONTAGE DU PROJET

■ Genèse de l'étude

- A partir de 2016, le **Cerema** s'ouvre progressivement à d'autres partenaires locaux et réfléchit à une déclinaison de ses outils développés initialement pour le RRN
- **Projet API R&D SIMET** = déclinaison des outils SISMOA / SISMUR / SISROUTE d'évaluation préliminaire du risque sismique sur les infrastructures routières au contexte urbain ou inter-urbain

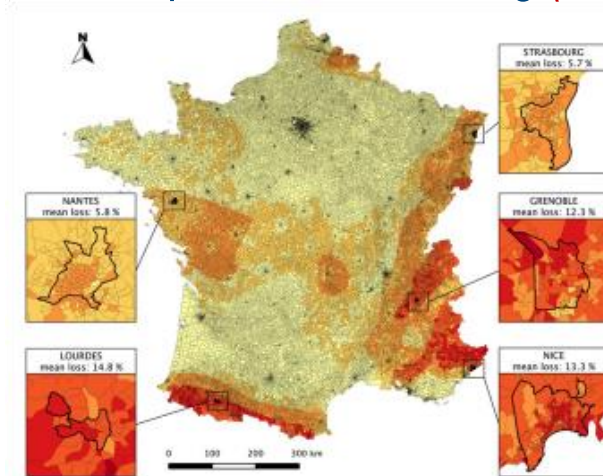


- Desserte locale d'équipements particuliers (*hôpitaux, casernes, EHPAD, salles de spectacles, centres commerciaux, pôles de transport, écoles...*)
- Zones de congestion, entrées de ville
- Segmentations de l'espace urbain (*rivières, cols, rails*)
- Interaction / redondance des réseaux de transport
- Solidarité inter-communale (*desserte, accès des secours...*)
- Risque d'effondrement des bâtiments sur les routes

LE MONTAGE DU PROJET

■ Genèse de l'étude

- 1^{ères} prises de contact avec les métropoles et collectivités territoriales à partir de sept. 2016
 - Métropole Nice Côte d'Azur (*accord de principe*)
 - CD 06 (*accord de principe*)
 - Nantes Métropole (*accord de principe*)
 - Grenoble-Alpes Métropole (*sans suite au départ pour raison de priorité*)
 - Agglomération Pays de Lourdes (*sans suite au départ pour raison politique*)
 - Métropole de Strasbourg (*sans suite au départ pour raison de réorganisation de services*)



Villes souvent identifiées parmi les plus représentatives du contexte métropolitain vis-à-vis du risque sismique

(source : IFSTTAR - Institut des Sciences de la Terre / Université Grenoble Alpes – Scénario des pertes économiques sismiques en France métropolitaine)

LE MONTAGE DU PROJET

■ Genèse de l'étude

- **2017** : Demande de la **Préf. 06** aux gestionnaires routiers et autoroutier du département de réaliser des études de vulnérabilité sur un itinéraire de secours prioritaire pour la traversée Ouest-Est de Nice, défini en lien avec la sécurité civile (SDIS 06)

• Des objectifs convergents et une démarche gagnant / gagnant

😊 **Pour la préfecture et la DDTM 06** (*plan séisme 06*) : Sécuriser un itinéraire de secours prioritaire fiable dans le cadre du plan ORSEC 06

😊 **Pour la métropole Nice Côte d'Azur et le CD 06** :

- Répondre à la requête préfectorale...
- Évaluer leur patrimoine d'infrastructures en vue d'une orientation ciblée des actions à mener dans un souci d'efficacité financière et organisationnelle

😊 **Pour le Cerema** :

- Tester la pertinence de la méthodologie sur un territoire d'expérimentation
- Se positionner en appui aux CT pour la mise en œuvre des politiques publiques

LE MONTAGE DU PROJET

- Genèse de l'étude

- Conventions de partenariat signées :

- En juillet 2018 avec le CD 06 (*convention R&D*)
- En sept. 2018 avec la métropole de Nice (*convention R&D*)
- En juin 2020 avec la société concessionnaire d'autoroute Vinci-Escota (*mission d'AMO / expertise*)
- Sous la supervision générale de la DDT 06, responsable du Plan Séisme 06 pour le compte de la Préfecture des Alpes-Maritimes



LE MONTAGE DU PROJET

■ Découpage en phases

- Durée totale : 2-3 ans
- Phase 1 : **Présentation générale de l'étude / montage du projet** : contexte, objectifs, démarche proposée, structuration des livrables, partenaires... *(livrée nov. 2019)*
- Phase 2 : **Évaluation et comparaison des itinéraires** vis-à-vis des risques sismiques *(livrée fév. 2019)*
- Phase 3 : **Évaluation préliminaire du risque sismique sur les ouvrages constitutifs** des itinéraires prioritaires, pré-estimation simplifiée des mesures de protection / renforcement *(livrée nov. 2020)*
- Phase 4 : **Synthèse de l'étude**, confrontation et **mise en commun** des résultats sur les différents territoires d'expérimentation, **calibration des seuils** *(livrée nov. 2021)*
- Phase 5 (optionnelle) : Appui au développement d'un **outil SIG dédié** (cahier des charges)
- Phase 6 (optionnelle) : **Diagnostic détaillé et étude préliminaire de renforcement sismique d'un ouvrage particulièrement sensible** *(en cours)*

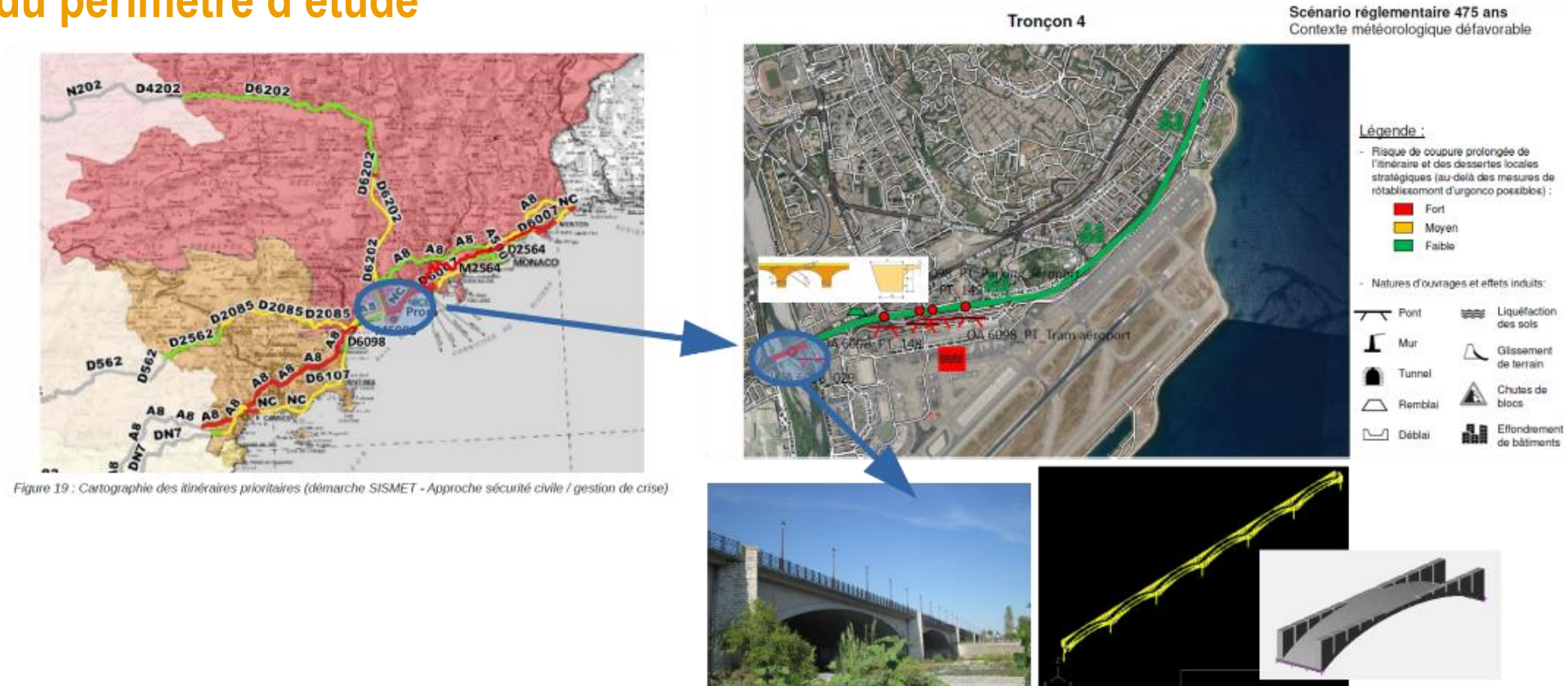
LE MONTAGE DU PROJET

- Structuration du rendu
 - 1 livrable par phase
 - Pour chaque livrable :
 - Corps du texte : présentation des développements méthodologiques
 - Annexes : Applications sur chacun des territoires d'expérimentation

LA DÉMARCHE MÉTHODOLOGIQUE DÉVELOPPÉE

- 3 étapes opérationnelles successives

➔ **Raffinement croissant du niveau d'analyse et resserrement progressif du périmètre d'étude**



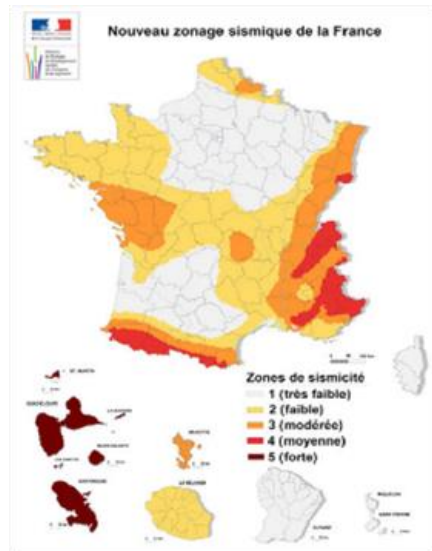
LA DÉMARCHE MÉTHODOLOGIQUE DÉVELOPPÉE

■ Évaluation à partir du croisement de critères

Aléas - Vulnérabilités - Importance

Aléa vibratoire (effet direct)

- Zonage réglementaire (*différentes périodes de retour*)
- Microzonages
- Séismes de scénarios



Aléa induits (effet indirect)

- Liquéfaction des sols
- Chutes de blocs
- Glissements de terrains
- Effondrements de bâtiments

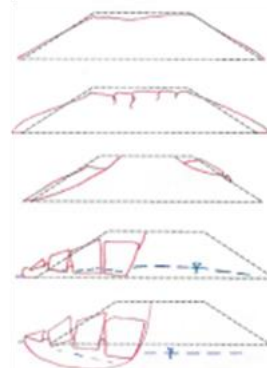
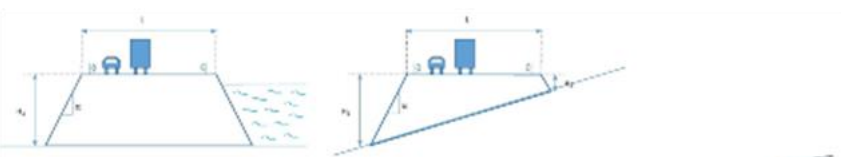
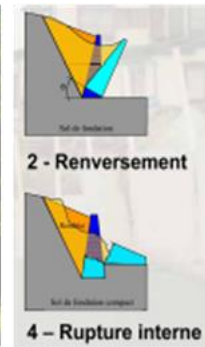


LA DÉMARCHE MÉTHODOLOGIQUE DÉVELOPPÉE

■ Évaluation à partir du croisement de critères

Aléas - **Vulnérabilités** - Importance

- Ponts
- Murs de soutènement
- Talus (remblais/déblais)
- Tunnels

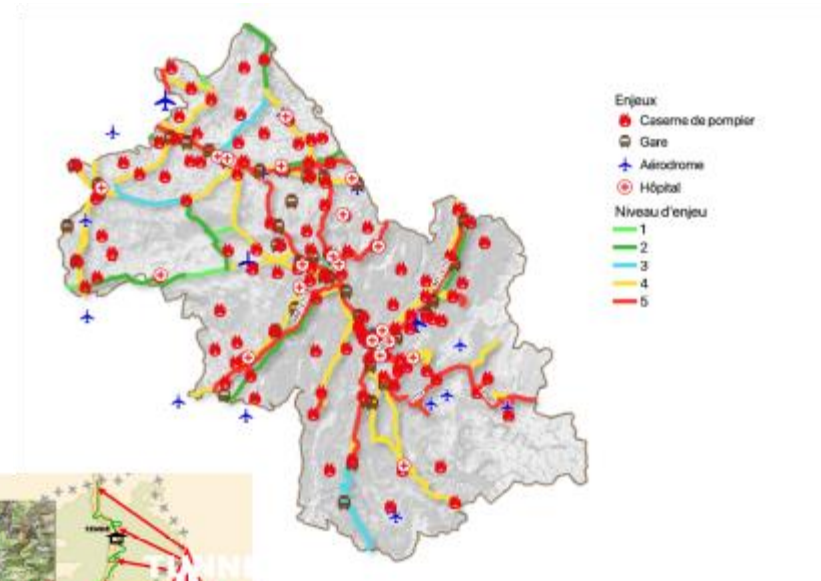


LA DÉMARCHE MÉTHODOLOGIQUE DÉVELOPPÉE

■ Évaluation à partir du croisement de critères

Aléas - Vulnérabilités - **Importance**

- Enjeux court terme / long terme
- Dessertes d'équipements stratégiques
- Accès aux zones sensibles / fragiles
- Déviations / redondance
- Poss. rétablissements provisoires d'urgence
- Franchissements segmentations espace urbain




LA DÉMARCHE MÉTHODOLOGIQUE DÉVELOPPÉE

- Étape 1 : Hiérarchisation des itinéraires
 - Échelle très macro
 - Approche qualitative

➔ Proposition d'une approche basée sur les recommandations générales du guide Sétra « Maîtrise des risques – Application aux ouvrages d'art », avec :

- $P = \alpha_A \cdot A \otimes \alpha_V \cdot V \otimes \alpha_I \cdot I$ avec $\alpha_I > \alpha_A \gg \alpha_V$
- « I » basé sur matrice d'importance « itinéraire »
- « A » basé sur carte de zonage national + analyse « grande maille » des effets de site et induits (*bassin sédimentaire, vallée alluvionnaire, zones de relief prononcé...*)
- « V » basé sur une analyse très sommaire :
 - Date de réalisation (ou conception)
 - État de santé structurel global des ouvrages
 - Nombre d'ouvrages d'art sur le tronçon (ponts et murs)
 - Nombre d'ouvrages non-courants
 - Nombre de passages inférieurs (hors cadres et portiques)

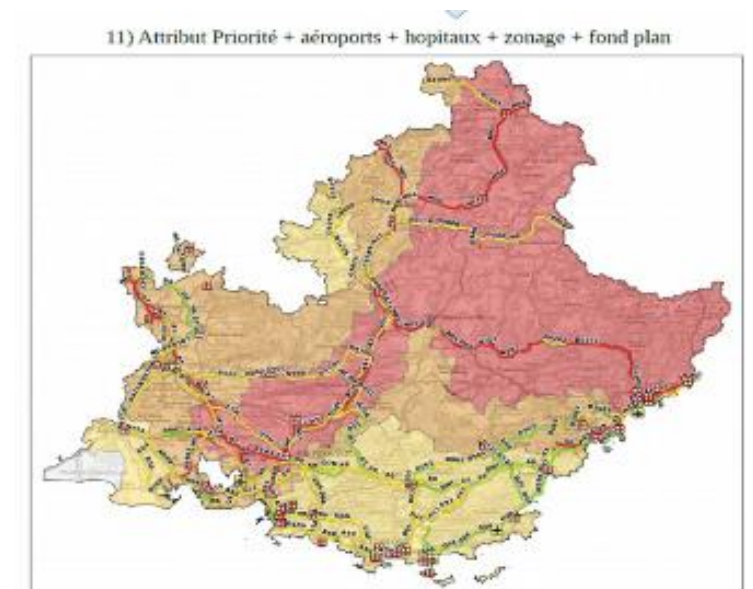


LA DÉMARCHE MÉTHODOLOGIQUE DÉVELOPPÉE

■ Étape 1 : Hiérarchisation des itinéraires

- Grille de paramètres simples, accessibles et facilitant une exploitation SIG

Itin	Gest.	PR début	PR fin	Dpt	Zone sismique	A_Totale	A	A (niveau)	V_Totale	V	V (niveau)	R	R (niveau)	I _{tot}	I	I (niveau)	P	P (niveau)
A7	DIR Med	260	280	13	2-Faible	-7	2	faible	4	4	moyen	3	modéré	57	4	moyenne	2	moyenne
A7	DIR Med	279	279	13	2-Faible	-7	2	faible	4	4	moyen	3	modéré	57	4	moyenne	2	moyenne
A7	DIR Med	275	278	13	2-Faible	-7	2	faible	7	4	fort	3	modéré	57	4	moyenne	2	moyenne
A7	DIR Med	274	274	13	2-Faible	-5	2	moyen	7	4	fort	3	modéré	57	4	moyenne	2	moyenne
A7	DIR Med	272	272	13	3-Moderée	-2	3	moyen	4	4	moyen	4	moyen	57	4	moyenne	1	élevée
A7	DIR Med	273	273	13	2-Faible	-5	2	moyen	4	4	moyen	3	modéré	57	4	moyenne	2	moyenne
A7	DIR Med	270	271	13	3-Moderée	-2	3	moyen	-8	1	faible	1	bès faible	56	4	moyenne	3	faible
A7	DIR Med	267	268	13	3-Moderée	-4	2	moyen	4	4	moyen	3	modéré	56	4	moyenne	2	moyenne
A7	DIR Med	269	269	13	3-Moderée	-2	3	moyen	4	4	moyen	4	moyen	56	4	moyenne	1	élevée
A7	DIR Med	265	268	13	3-Moderée	-3	2	moyen	-8	1	faible	1	bès faible	57	4	moyenne	3	faible
A7	DIR Med	261	264	13	3-Moderée	-3	2	moyen	4	4	moyen	3	modéré	56	4	moyenne	2	moyenne
A7	DIR Med	255	259	13	3-Moderée	3	4	moyen	4	4	moyen	5	fort	56	4	moyenne	1	élevée
A7	DIR Med	260	260	13	3-Moderée	-3	2	moyen	4	4	moyen	3	modéré	56	4	moyenne	2	moyenne
A7	DIR Med			13	3-Moderée	-3	2	moyen	4	4	moyen	3	modéré	56	4	moyenne	2	moyenne
A7	ASF	253	253	13	3-Moderée	2	3	moyen	10	5	fort	4	moyen	56,5	4	moyenne	1	élevée
A7	ASF	254	254	13	3-Moderée	-4	2	moyen	10	5	fort	3	modéré	56,5	4	moyenne	2	moyenne
A7	ASF	248	252	13	4-Moyenne	8	5	fort	10	5	fort	5	fort	56,5	4	moyenne	1	élevée
A7	ASF			13	4-Moyenne	8	5	fort	7	4	fort	5	fort	56,5	4	moyenne	1	élevée



LA DÉMARCHE MÉTHODOLOGIQUE DÉVELOPPÉE

- Étape 1 : Hiérarchisation des itinéraires
 - 2 angles d'analyse possibles

Approche « gestionnaire »

- **Priorité donnée aux infrastructures les plus exposées et vulnérables**
- **Finalité : Réduction des conséquences**



Figure 18 : Cartographie des itinéraires prioritaires (démarche SISMET - Approche gestionnaire / analyse de risque)



Approche « Sécurité civile / gestion de crise »

- **Priorité donnée aux infrastructures à priori les plus robustes et desservant les enjeux les plus forts**
- **Finalité : Fiabiliser l'accès des secours à moindre coût**



Figure 19 : Cartographie des itinéraires prioritaires (démarche SISMET - Approche sécurité civile / gestion de crise)




LA DÉMARCHE MÉTHODOLOGIQUE DÉVELOPPÉE

■ Étape 1 : Hiérarchisation des itinéraires

- L'approche « sécurité civile / gestion de crise » largement plébiscitée par les différents partenaires...

- Matrices de risque et de priorité

	V 1	V 2	V 3	V 4	V 5
A 1	R 1	R 1	R 1	R 2	R 2
A 2	R 1	R 1	R 2	R 3	R 3
A 3	R 1	R 2	R 3	R 4	R 4
A 4	R 2	R 3	R 4	R 5	R 5
A 5	R 3	R 4	R 5	R 5	R 5



	I 1	I 2	I 3	I 4	I 5
R 1	P 3	P 3	P 2	P 1	P 1
R 2	P 3	P 3	P 2	P 1	P 1
R 3	P 3	P 3	P 2	P 1	P 1
R 4	P 3	P 3	P 2	P 2	P 1
R 5	P 3	P 3	P 3	P 2	P 1

Itinéraires prioritaires = combinaison **Enjeu x Fiabilité** (exposition et vulnérabilité réduites)
= combinaison **Enjeu / (Aléa x Vulnérabilité)**

LA DÉMARCHE MÉTHODOLOGIQUE DÉVELOPPÉE

■ Étape 1 : Hiérarchisation des itinéraires

- L'approche « sécurité civile / gestion de crise » largement plébiscitée par les différents partenaires...

- Une approche expérimentée et validée sur le département 06 par confrontation avec l'analyse menée séparément par les services de sécurité civile (SDIS)

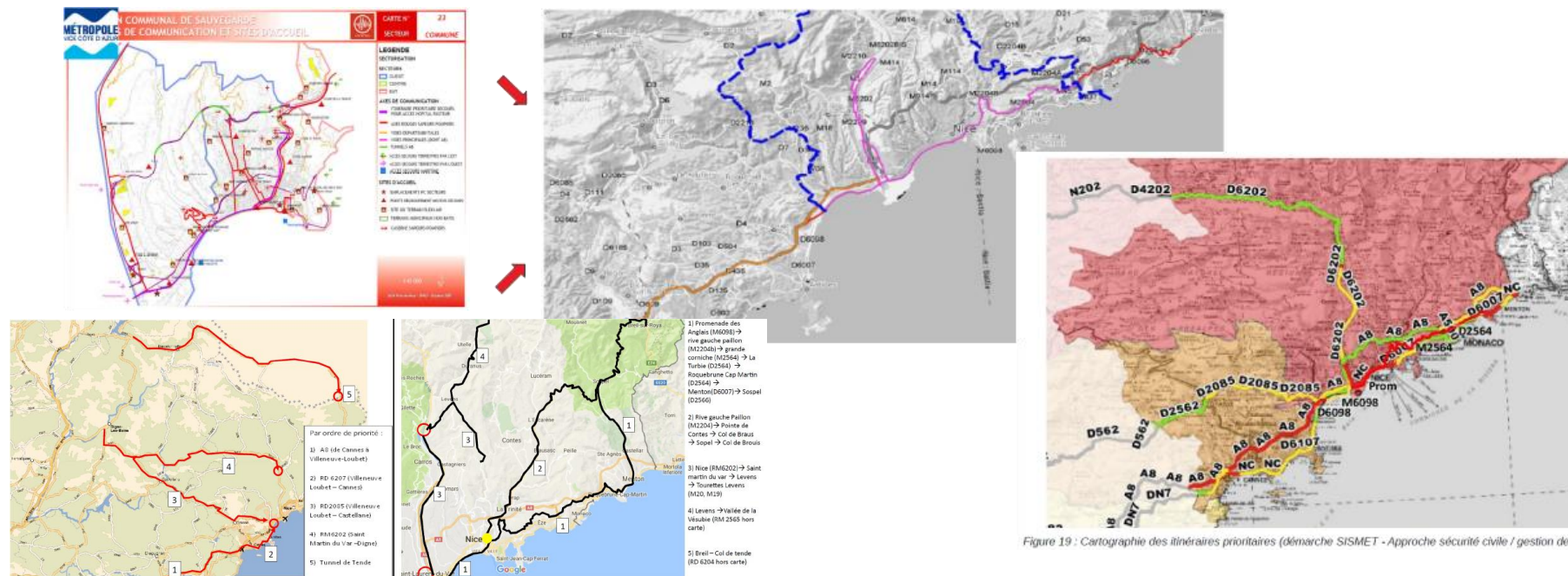
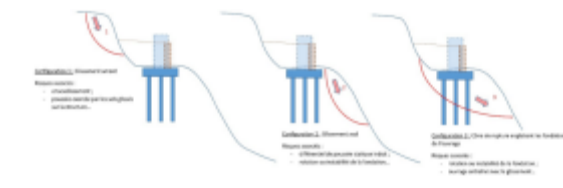
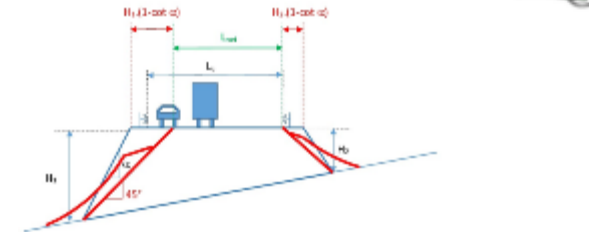
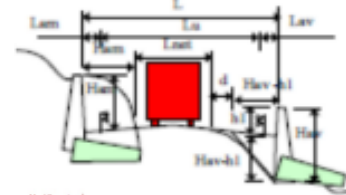
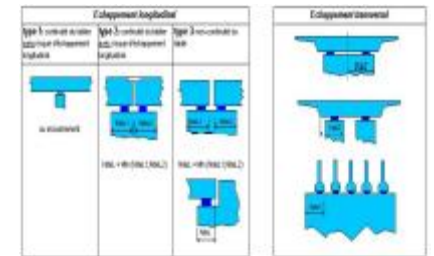


Figure 19 : Cartographie des itinéraires prioritaires (démarche SISMET - Approche sécurité civile / gestion de crise)

LA DÉMARCHE MÉTHODOLOGIQUE DÉVELOPPÉE

- Étape 2 : Évaluation préliminaire du risque sismique sur les ouvrages et éléments constitutifs des itinéraires de secours prioritaires
 - Approches semi-quantitatives
 - Évaluations préliminaires de vulnérabilité
 - Outils dédiés : *SismOA*, *SisMur*, *SisRoute* / *SisMet* pour l'analyse des :
 - Ponts, murs, tunnels, remblais et talus routiers...
 - Portions de routes exposées aux risques liquéfaction et gravitaires induits
 - Bâtiments disposés en bord de chaussée présentant un risque d'effondrement



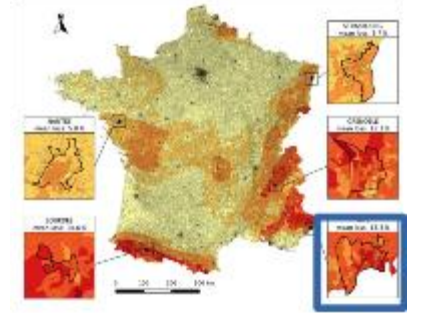
	Case 1: Bâtiment à deux étages, structure en maçonnerie. Le risque d'effondrement est élevé en raison de la faible rigidité latérale et de la sensibilité aux déplacements horizontaux.
	Case 2: Bâtiment à deux étages, structure en béton armé. Le risque d'effondrement est modéré en raison de la rigidité latérale accrue.
	Case 3: Bâtiment à deux étages, structure en béton armé avec isolation sismique. Le risque d'effondrement est faible en raison de la rigidité latérale accrue et de la dissipation d'énergie.
	Case 4: Bâtiment à deux étages, structure en béton armé avec isolation sismique et renforcement des murs. Le risque d'effondrement est très faible en raison de la rigidité latérale accrue et de la dissipation d'énergie.
	Case 5: Bâtiment à deux étages, structure en béton armé avec isolation sismique et renforcement des murs et des colonnes. Le risque d'effondrement est très faible en raison de la rigidité latérale accrue et de la dissipation d'énergie.

$$W_1 = \frac{2 \lambda \cdot H \cdot Y}{\tan c} \quad W_2 = \frac{2 \lambda \cdot H \cdot Y}{\tan c}$$

$$W_3 = \frac{H^2 \cdot \lambda \cdot H \cdot Y}{4 \cdot \tan c} \quad W_4 = \frac{H^2 \cdot \lambda \cdot H \cdot Y}{4 \cdot \tan c} + \cos(90 - c) \cdot \frac{H}{2}$$



LES APPLICATIONS OPÉRATIONNELLES (réalisées, en cours ou à venir)



■ Itinéraires d'accès des secours à l'agglomération Niçoise

• Comprend également :

- L'étude spécifique du pont Napoléon III, yc instrum. dynamique équipe Sophia-Antipolis (*Métropole Nice*)
- L'AMO pour l'évaluation du viaduc du Var (*Escota - études Tractebel Engineering*)



VOLET : « GESTION DE CRISE » : Itinéraire de secours

L'itinéraire principal permettra l'intervention des secours Ouest en Est via le pont Napoléon III (sortie A8 à Villeneuve Loubet).

Si, le pont Napoléon III est inutilisable, pour traverser le Var et au vu des enjeux de secours, deux variantes ont été retenues :

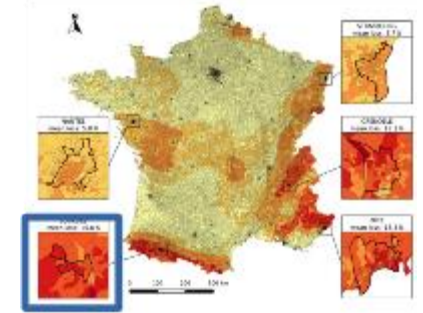
1- la section autoroutière de Villeneuve Loubet avec une sortie au CADAM en utilisant le viaduc du Var

2- un contournement de Saint Laurent du Var via Carros (DR95A/RN6202 bis/route de Grenoble) en utilisant le pont Saint Isidore construction parasismique puis retour vers Nice



LES APPLICATIONS OPÉRATIONNELLES (réalisées, en cours ou à venir)

- 2 axes principaux d'accès des secours Tarbes-Lourdes
 - Cadre plan séisme Pyrénées
 - Phase 2
 - Commanditaire : DDT 65

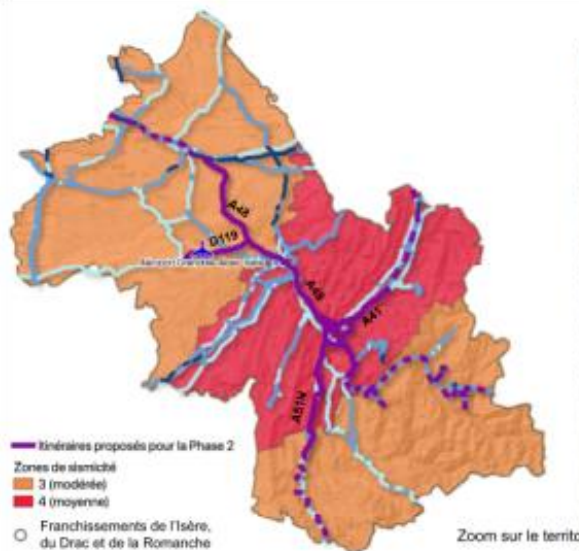
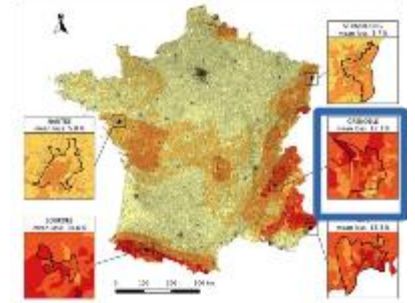


- Hypothèse d'un séisme à Lourdes, ville qui a déjà connu de forts séismes dans le passé
 - Départ itinéraire : centre de secours de Tarbes
 - Arrivée itinéraire : place de l'Office du Tourisme de Lourdes
 - Objectif : comparer 3 itinéraires (2 principaux et 1 variante) pour déterminer quel est le plus résilient par rapport à l'action sismique

LES APPLICATIONS OPÉRATIONNELLES

(réalisées, en cours ou à venir)

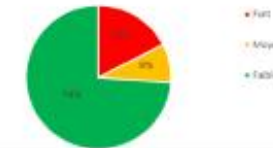
- Itinéraires de gestion de crise Grenoble / Isère
 - Cadre plan séisme AuRA (*coordination DREAL AuRA*)
 - Phases 1 et 2
 - Commanditaire : **DDT 38**



Légende :

- Risque de coupure prolongée de l'itinéraire et des dessertes locales stratégiques (au-delà des mesures de rétablissement d'urgence possibles) :
- Fort
- Moyen
- Faible

Risque résiduel pressenti après séisme



- Natures d'ouvrages et effets induits:

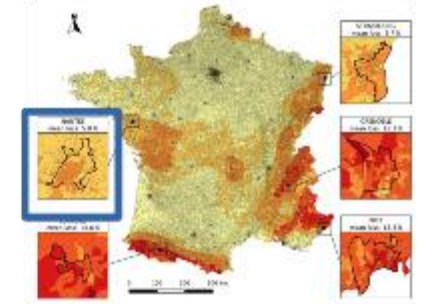
Pont	Liquéfaction des sols
Mur	Glissement de terrain
Tunnel	Chutes de blocs
Rambarde	Effondrement de bâtiments
Débris	

LES APPLICATIONS OPÉRATIONNELLES

(réalisées, en cours ou à venir)

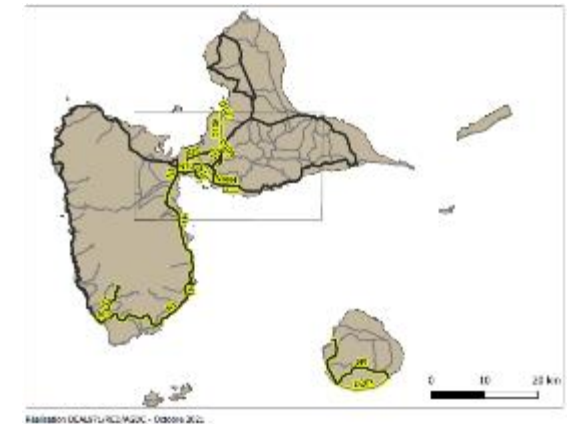
■ Itinéraires prioritaires de Nantes

- Phases 1 et 2
- Commanditaire : Nantes Métropole



■ Itinéraires de Guadeloupe prioritaires pour la gestion de crise

- Cadre plan séisme Antilles (*coordination : DEAL Guadeloupe*)
- Phases 1 et 2 (+ analyse de risque affouillement)
- Commanditaire : Région Guadeloupe + Routes de Guadeloupe



LES APPLICATIONS OPÉRATIONNELLES

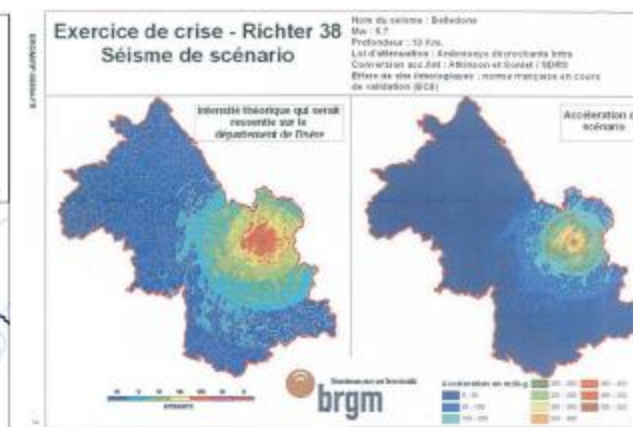
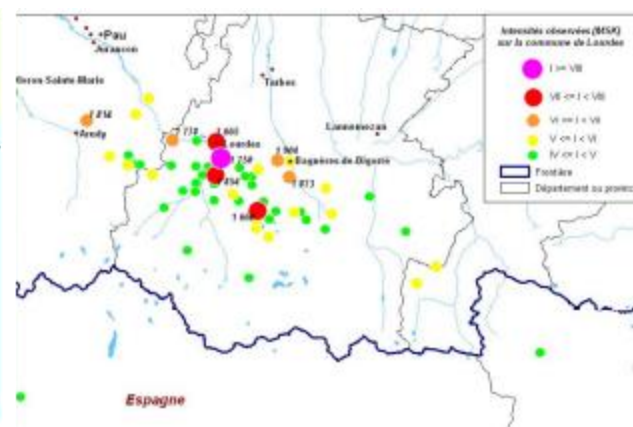
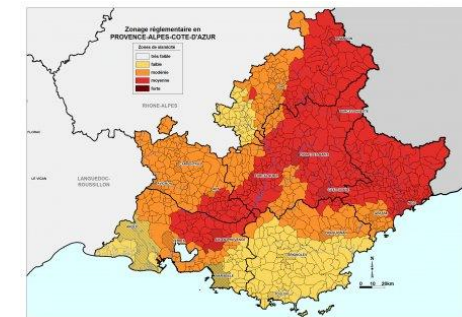
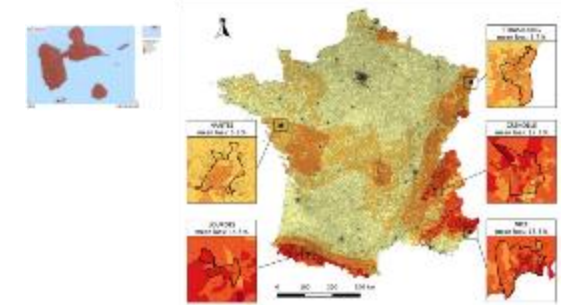
Pour chacune des études, différents scénarios considérés :

■ Réglementaires (probabilistes) :

- Période de retour **475 ans, contexte météorologique défavorable**
- Période de retour 800 ans, contexte météorologique favorable
- Période de retour 1250 ans, contexte météorologique favorable

■ Déterministes :

Issus d'évènement réels ou simulés



ÉLÉMENTS DE CONCLUSION

- SISMET : une démarche développée par le Cerema pour l'évaluation préliminaire du risque sismique sur les infrastructures routières urbaines et inter-urbaines dans un contexte de gestion de crise
- Plusieurs phases successives correspondant à :
 - Un resserrement progressif du périmètre d'étude
 - Un raffinement croissant du niveau d'analyse
- Une approche adaptable à d'autres aléas et/ou d'autres types d'infrastructures

ÉLÉMENTS DE CONCLUSION

- Les applications opérationnelles menées dans différentes régions du territoire national ont démontré :
 - La plus-value de la démarche comme outil d'aide à la décision et d'échange entre les différents acteurs du territoires impliqués dans la gestion de crise
 - La pertinence de l'approche proposée et sa sélectivité, permettant de concentrer les moyens sur des enjeux ciblés, en vue d'améliorer la résilience des infrastructures les plus essentielles en cas d'évènement sismique

Merci pour votre attention !

Denis DAVI

Pôle « Réduction des risques sismiques et hydrauliques appliquée aux Ouvrages d'Art »
Cerema Méditerranée

denis.davi@cerema.fr

<https://www.cerema.fr/fr/actualites/projet-rd-sismet-evaluer-risque-sismique-routes-urbaines>

<https://www.cerema.fr/fr/actualites/evaluation-sismique-itineraire-prioritaire-secours-nice>

<https://www.cerema.fr/fr/projets/evaluation-du-risque-sismique-deux-itineraires-prioritaires>