

Journée publique de restitution
Mercredi 11 Septembre 2019, Marne-la-Vallée

Comparaison des méthodologies française et japonaise d'analyse de risque sur un parc d'ouvrages

Denis DAVI, *Cerema Méditerranée, Aix en Provence*

Nesrine YOUNSI, *Mines Nancy, Université Lorraine, Nancy*



IFSTTAR



Cerema



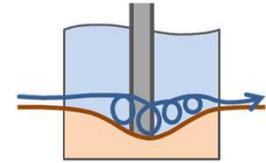
VINCI
AUTOROUTES



SNCF
RÉSEAU

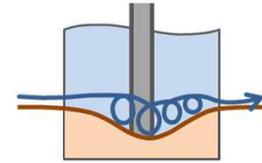
RAILENIUM
TRAFIC & MOBILITÉS

Plan de la présentation

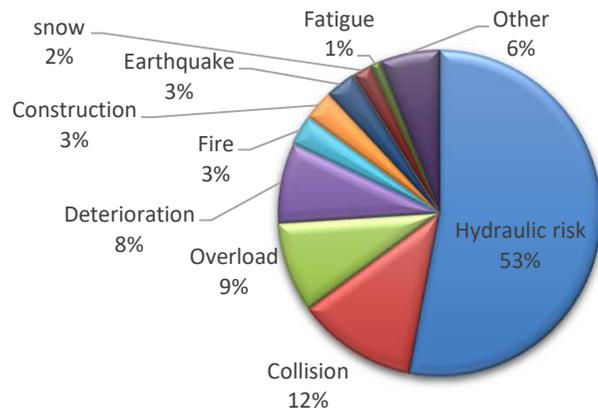


- Introduction - éléments de contexte
- Objectifs de l'étude
- Description sommaire des méthodes française et japonaise d'analyse de risque affouillement
- Caractéristiques du parc d'ouvrages testés
- Adaptation des méthodes en vue de la comparaison et stratégie d'expérimentation
- Résultats et interprétation
- Conclusions

Introduction – éléments de contexte



- L'affouillement : une des causes majeure d'effondrement des OA



Main bridge failure causes in the USA between 1989 and 2000
(K. Wardhana & F.C. Hadipriono, 2003)



Effondrement du pont Wilson à Tours
(1978)



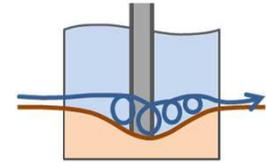
Le pont sur la rivière Saint-Etienne (la Réunion)
effondré suite au passage du cyclone Gamède (2007)



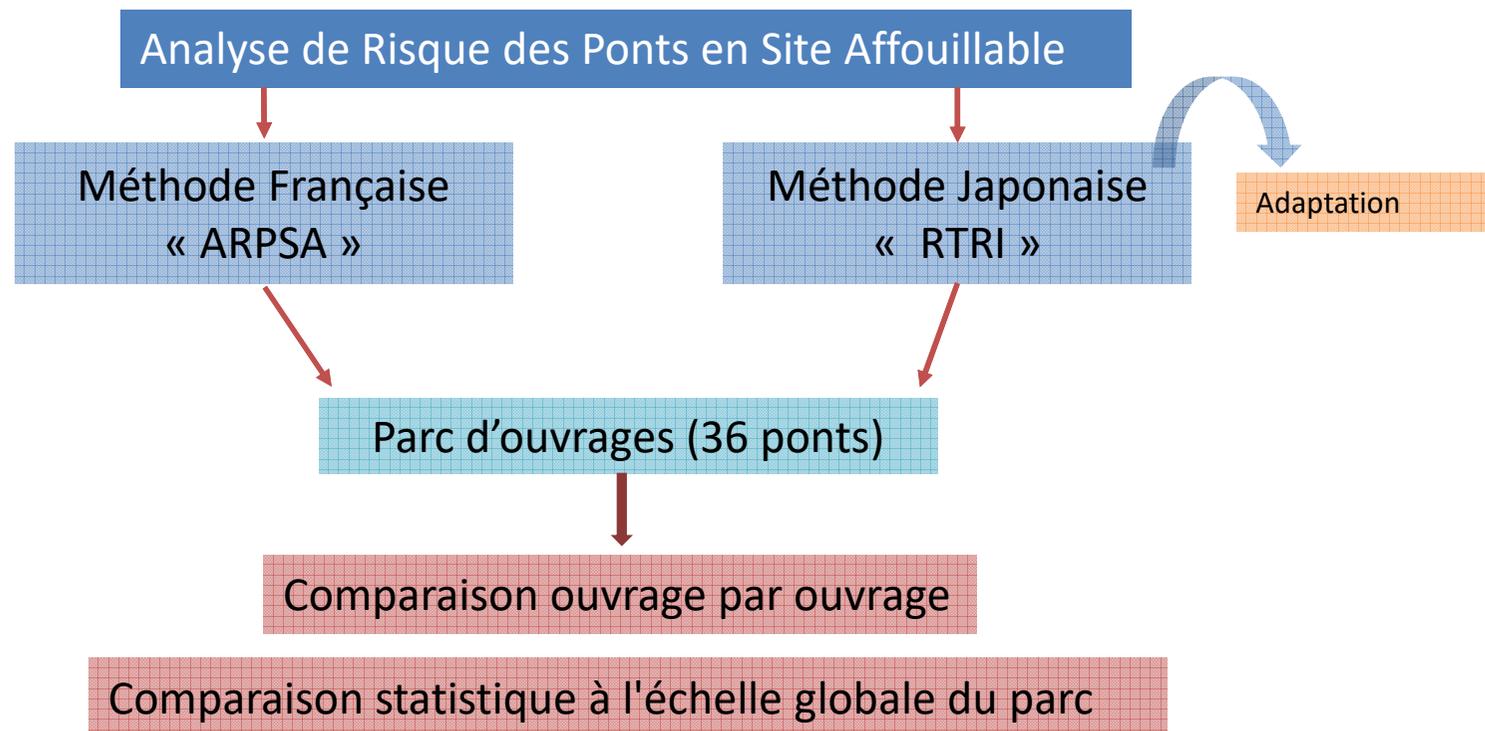
Kompsatos Potamos bridge
(Grèce, 2017)

- Besoin pour les gestionnaires de disposer d'outils d'évaluation des ouvrages exposés à cet aléa ➔ **1^{ère} estimation de l'exposition et de la sensibilité des OA en vue de prioriser les diagnostics détaillés et les éventuelles mesures de protection à mettre en œuvre...**
- Des approches d'analyse de risque spécifiques ont été récemment développées, notamment en France et au Japon

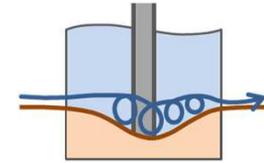
Objectifs de l'étude



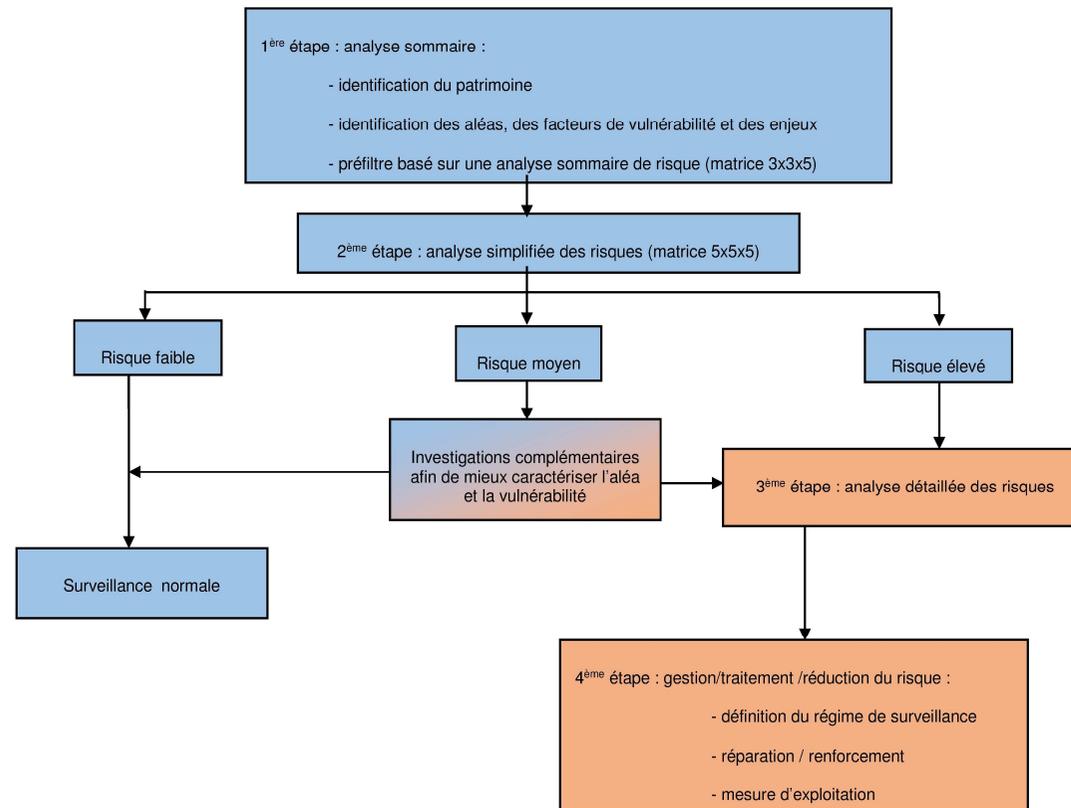
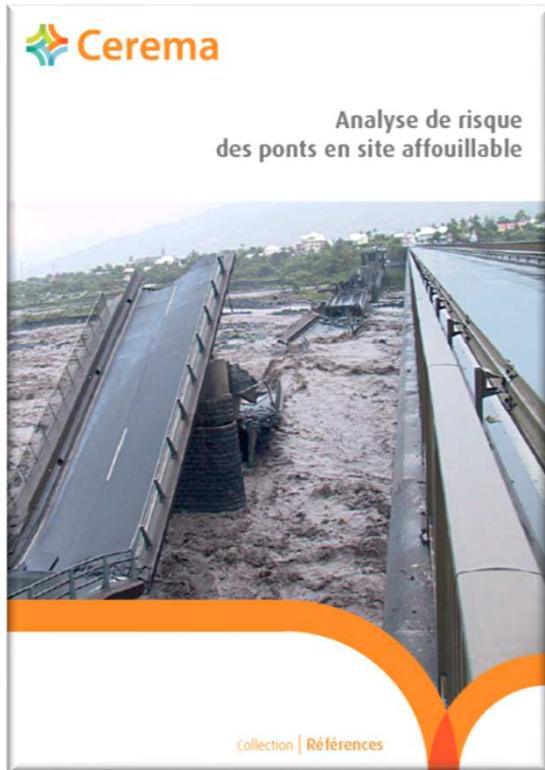
- Expérimenter les 2 méthodes d'analyse sur un parc d'ouvrages correspondant à un panel de situations variées
- Comparer les résultats obtenus et les critères discriminants selon chacune des deux approches



Description sommaire des méthodes française et japonaise d'analyse de risque affouillement

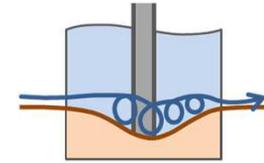


- La méthode française « ARPSA »
 - 3 étapes successives correspondant à un raffinement croissant de l'analyse et permettant de resserrer progressivement le périmètre d'étude



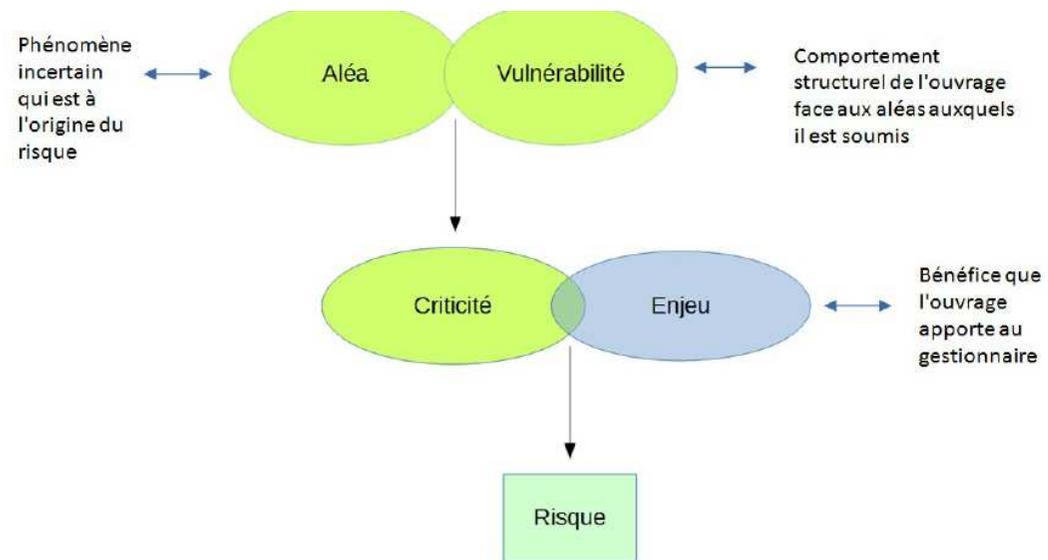
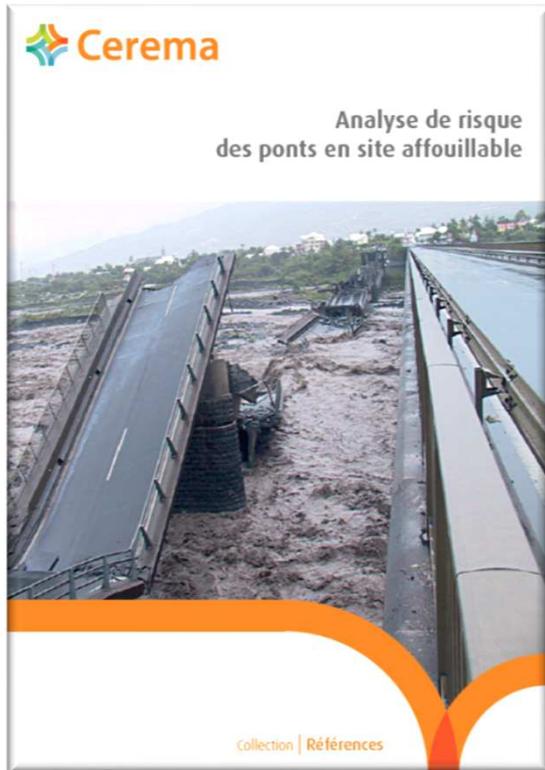
Légende :
 Processus « systématique » résultant de l'analyse de risque simplifiée sur un patrimoine d'ouvrage
 Etapes résultant d'un processus décisionnel au cas par cas, à caractère « non-systématique » et éventuellement étayé par du « dire d'expert »

Description sommaire des méthodes française et japonaise d'analyse de risque affouillement



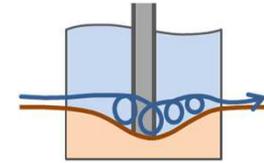
- La méthode française « ARPSA »

- Une démarche « classique » d'analyse de risque croisant des critères d'aléa, de vulnérabilité et d'enjeux



Démarche générale d'analyse de risque

Description sommaire des méthodes française et japonaise d'analyse de risque affouillement

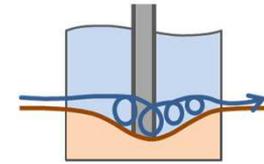


- La méthode française « ARPSA »
 - Grilles d'analyses « aléa » et « vulnérabilité » (étape 1 : Analyse sommaire)

Facteurs influant les aléas affouillements		Cotation		
Conditions d'écoulement	Rivières fluviales : rivières de plaines, rivières aménagées ou navigables, canaux, rivières fluviales en milieu estuarien (hors Méditerranée) soumis à la marée	2	A11	
	Rivières torrentielles (notamment rivières Méditerranéennes) caractérisées par des crues fortes et brutales en cas de gros orages	3,5		
	Torrents de montagne et rivières sous régime cyclonique des DROM-COM : cours d'eau de montagne à fort courant et à forte pente et cours d'eau des régions cycloniques (France d'outre-mer)	5		
Nature du fond de lit (voir notas (1) et (2) du §1.2.1)	Substratum rocheux affleurant	0	A12	A34
	Blocs	1		
	Graves, cailloux, galets, etc.	1,6		
	Sols cohérents (limons, argiles, etc.)	2,8		
	Sables	3,5		
Affouillement général	2 x A11 x A12 - 5		A1	
Effet de contraction du lit (voir notas (3), (4) et (5) du §1.2.2)	Débouché hydraulique peu impacté par la présence de l'OA	0,5	A2	
	Réduction de 15 à 40 % du débouché hydraulique au droit de l'OA	2		
	Réduction > 40 % du débouché hydraulique ou mise en charge connue de l'OA	6		
Dimension des appuis faisant obstacle à l'écoulement (dimension de l'appui individuel le plus large par rapport au sens d'écoulement, y compris semelle si apparente, ou partie de culée en saillie)	Absence de pile et de culée en saillie	0	A31	
	Largeur ≤ 2 m	1,5		
	2 m < Largeur ≤ 4 m	2,5		
	Largeur > 4 m	3,5		
Forme des piles	Configuration favorable : fûts circulaires ou carrés (ou quasiment) et/ou absence de biais	1	A32	
	Oblongue ou allongée, avec un biais par rapport à l'écoulement de nature à tripler la largeur d'obstacle vue	3		
	Autres cas	2		
Evolution du lit	Lit connu pour être stable	1,1	A33	
	Présence de dunes H>1m ou bancs d'alluvions mobiles	1,3		
Affouillement local	1,2 x A31 x A32 x A33 x A34 x A11		A3	
Niveau d'aléa (affouillement total)	A1 + A2 + A3		A	

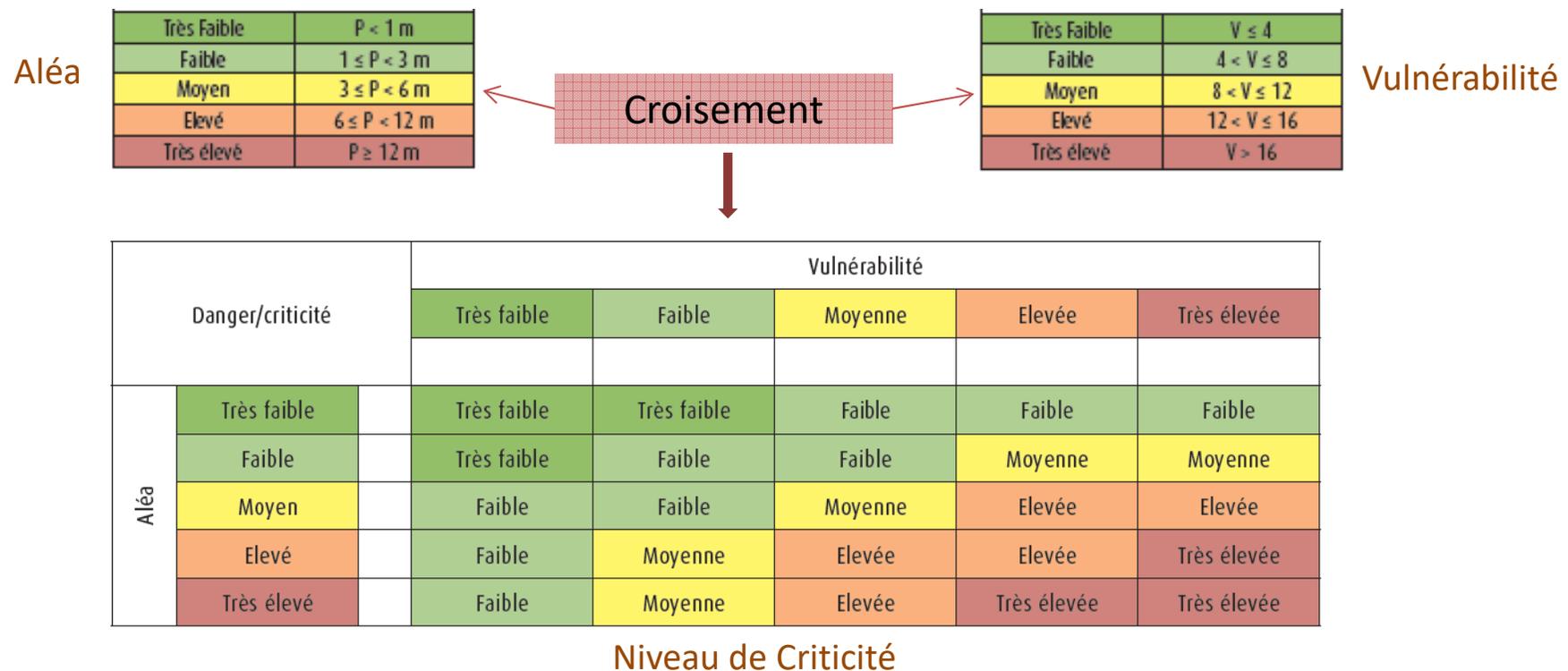
Facteurs influant la vulnérabilité aux affouillements		Cotation		
Période de construction (ouvrage, ou appuis si plus anciens)	Après 1976	-1	V11	
	1951-1975	3		
	Avant 1950	5		
Type de fondations	Fondations profondes ou semi-profondes (y compris pieux bois non dégarnis et semelles sur gros béton)	2	V12	
	Fondations superficielles « larges » (B ≥ 8 m selon la direction d'affouillement)	5		
	Autres cas (y compris pieux bois dégarnis) ou absence de données	10		
Surveillance	Visite récente (inspection ≤ 6 ans) montrant l'absence d'affouillement (visite subaquatique ou pieds d'appuis visibles à l'étiage)	0	V13	
	Autres cas	4		
Vulnérabilité des fondations (§2.2.1)	- Si absence de piles ou culées en saillie : 0 - Sinon : V11 + V12 + V13		V1	
Matériau constitutif des appuis	Béton ou métal, en bon état	1	V21	
	Maçonnerie, ou béton ou métal dégradé	3		
Forme de l'obstacle (partie « faisant face » à l'écoulement)	Avant-bec aiguë	0	V22	
	Appui cylindrique ou avant-bec circulaire	0,5		
	Appui rectangulaire	1		
Sensibilité des appuis à une déstabilisation de leur fondation (§2.2.2)	V21 + V22		V2	
Sensibilité du tablier aux dénivellations, basculement ou déchaussement partiel d'appui (§2.2.3)	Buse béton ou pont-cadre	1	V3	
	Autres cas	2		
Niveau de vulnérabilité	- Si V1 ≤ 5 : V1 - Si V1 > 5 : V1 + V2 + V3		V	

Description sommaire des méthodes française et japonaise d'analyse de risque affouillement

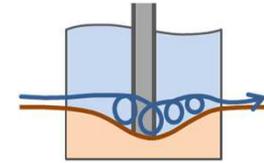


- La méthode française « ARPSA »

- Raffinement semi-quantitatif des critères (étape 2 : Analyse simplifiée)
(calcul empirique de la profondeur d'affouillement à partir de la vitesse d'écoulement, hauteur d'eau, taille des grains, dimensions des appuis...)



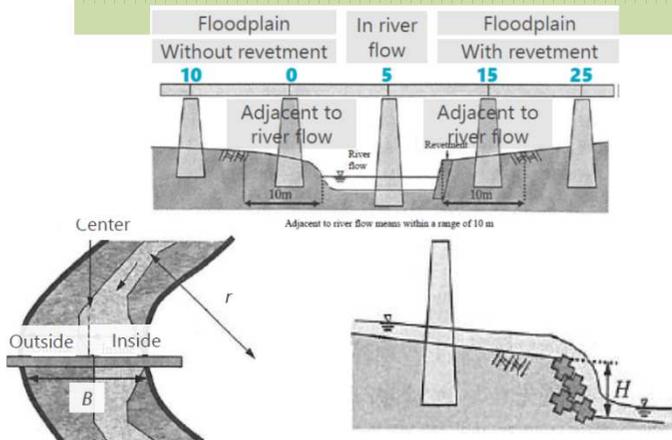
Description sommaire des méthodes française et japonaise d'analyse de risque affouillement



- La méthode japonaise « RTRI »

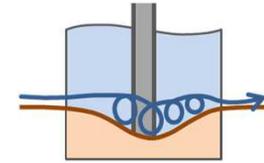
Conditions environnementale de la rivière

Conditions structurales des piles
(position dans le lit, environnement, type de fondation et ancrage au substratum...)



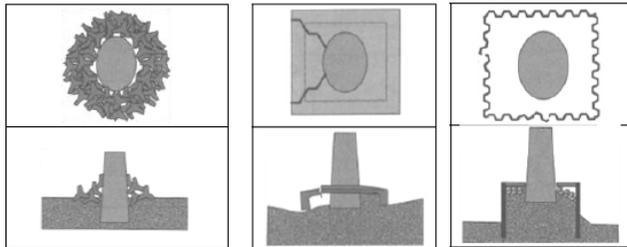
	Evaluation Classification	Evaluation items	score	
Environmental conditions of river	Topographical landform	Plain	10	
		Valley plain	10	
		Alluvial fan	0	
		Mountainous area	5	
	Constriction of river width	Absent	15	
		Present	0	
	Riverbed material	Sand	10	
		Gravel	0	
		Exposed rock or boulder	10	
	Overall riverbed degradation	Present	0	
Absent		10		
Structural conditions of bridge pier	Bridge pier location relative to river bend	Straight river or inside of river bend	15	
		Outside of river bend	0	
	Bridge pier location relative to floodplain	In river flow	5	
		Floodplain without revetment	10	
		Floodplain without revetment and adjacent to river flow	0	
		Floodplain with revetment	25	
		Floodplain with revetment and adjacent to river flow	15	
	Downstream drop structure	Height	Absent	20
			Up to 1m	5
			1-2m	0
		Deterioration	2m or more	◆
			Present	◆
	Construction	Only a part of river course	◆	
	Relative embedment depth	Spread foundation or pile foundation	Figure 8	
		Caisson foundation		
Variation of embedment depth	Increase or decrease in depth by more than 1.5 meters in comparison with that in the previous inspection	◆		
Bedrock contact	Absent	0		
	Probable	15		
	Present	30		

Description sommaire des méthodes française et japonaise d'analyse de risque affouillement



- La méthode japonaise « RTRI »

Conditions relatives aux mesures de protection de la pile
(nature et degré d'endommagement)



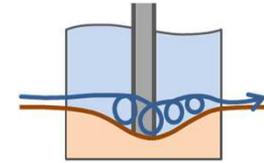
		Absent	0	
		Unknown	0	
Deterioration of basket protection		Present	0	
		Absent	5	
		Unknown	0	
Block footing protection	Deterioration	Absent	20	
		Partial	5	
		Overall or washed away	◆	
	Connection		Unknown	0
	Connection		Present	5
Expansion of footing	Relative embedment depth	Top of protection work < Riverbed	20	
		Bottom of protection work < Riverbed ≤ Top of protection work	10	
		Riverbed ≤ Bottom of protection work	◆	
	Deterioration		Present	◆
Deterioration		Unknown	0	
Concrete plastering work	Construction range	Whole surface	40	
		More than 2×D (D: width of bridge pier)	20	
		Less than 2×D (D: width of bridge pier)	0	
Steel sheet pile protection work	Relative embedment depth	Bottom of foundation < Riverbed	20	
		Riverbed ≤ Bottom of foundation	◆	
	Deterioration		Present	◆
Deterioration		Unknown	0	

Les éléments avec la marque "◆" dans la grille représentent des éléments de risque très élevé indépendamment de la somme totale des points

110



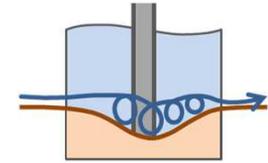
Description sommaire des méthodes française et japonaise d'analyse de risque affouillement



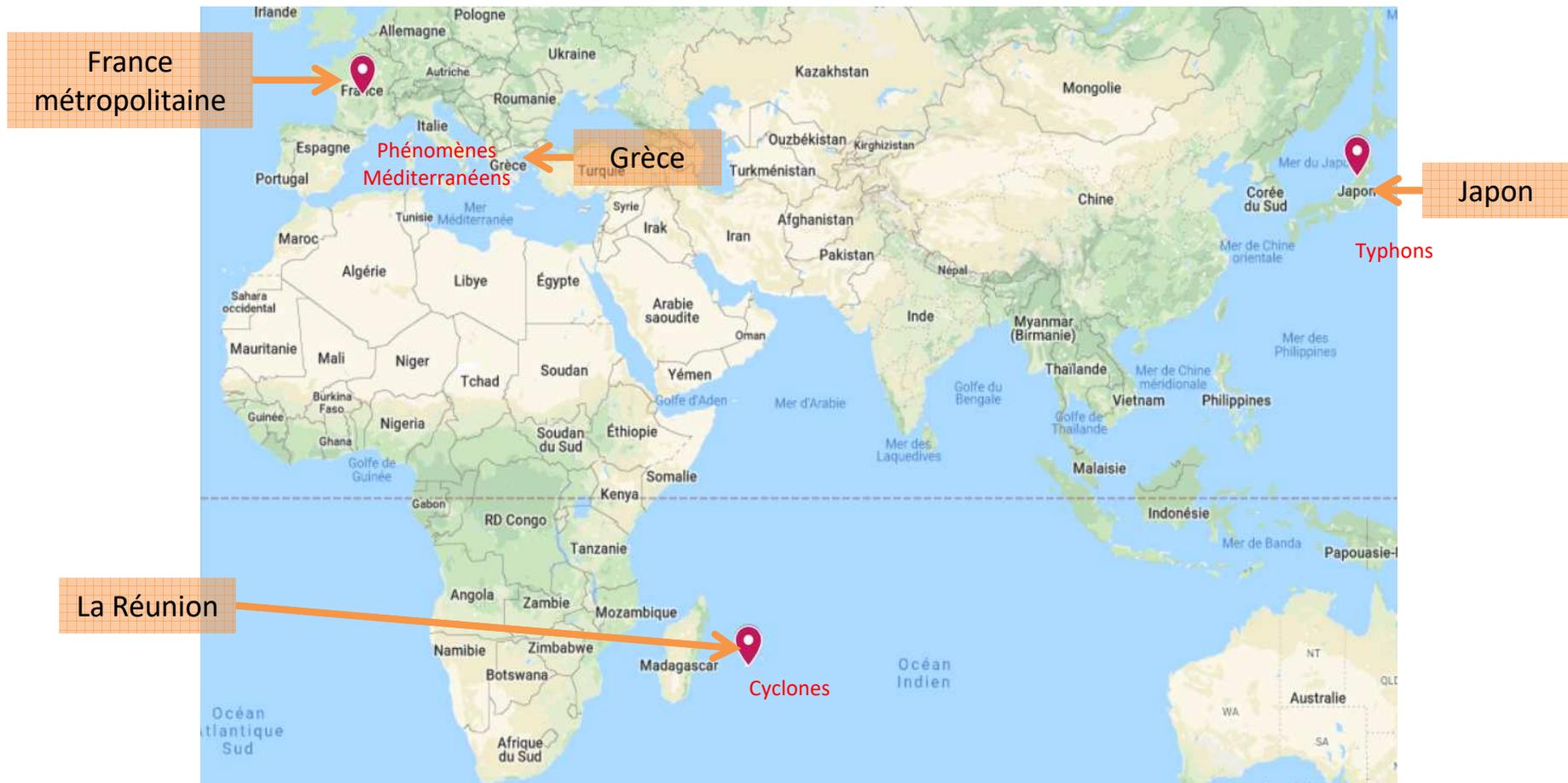
- Principales différences identifiées

Méthode française « ARPSA »	Méthode japonaise « RTRI »
Évaluation à l'échelle de l'ouvrage	Evaluation pile par pile
5 classes de présomption de risque d'effondrement	Résultat binaire : risqué / non risqué
Matrice de croisement « aléa - vulnérabilité »	Cumul direct d'indices
Prise en compte de la sensibilité du tablier à un mouvement des fondations	-
-	Prise en compte de la présence de seuils
Protections des fondations considérés comme révélatrices d'un aléa avéré <i>(efficacité jugée incertaine sur la vulnérabilité)</i>	Prise en compte fine des protections dans la réduction de la vulnérabilité <i>(sauf si endommagées)</i>

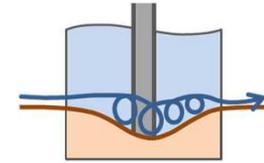
Caractéristiques du parc d'ouvrages testés



- Localisation



Caractéristiques du parc d'ouvrages testés



- Un panel de situations variées
 - OA routiers / OA ferroviaires
 - Différentes typologies et dimensions d'ouvrages
 - Différentes époques de construction
 - Franchissement de rivières fluviales / torrentielles
 - Régions correspondant à différents contextes climatiques (y compris cycloniques)



Le pont sur la rivière Saint-Etienne
(Région Réunion)



Viaduc TGV sur la Durance
(SNCF)

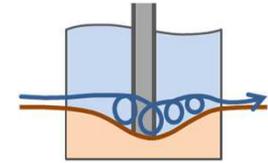


Pont autoroutier
(Vinci-ASF)



Ponts ferroviaire japonais
(RTRI)

Caractéristiques du parc d'ouvrages testés



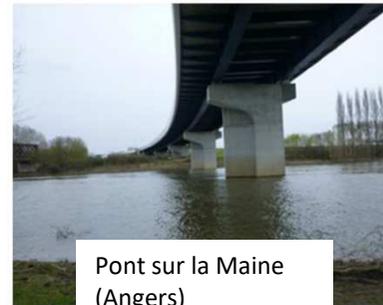
- Un panel de situations variées
 - OA routiers / OA ferroviaires
 - Différentes typologies et dimensions d'ouvrages
 - Différentes époques de construction
 - Franchissement de rivières fluviales / torrentielles
 - Régions correspondant à différents contextes climatiques (y compris cycloniques)



Pont ferroviaire
(SNCF- réseau TER)



Ponts ayant subi les inondations
du Var de 2014
(Département 83)



Pont sur la Maine
(Angers)

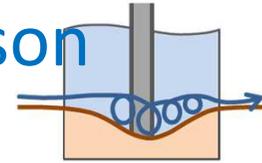


Ponts historiques
(Ville de Paris)



Le pont sur la rivière Kompsatos
(Grèce)

Adaptation des méthodes en vue de la comparaison et stratégie d'expérimentation



- Programmation / automatisation des grilles d'analyses
- Rassemblement des principaux critères d'aléa et de vulnérabilité selon chacune des 2 approches (*critères similaires ou quasi-similaires*)
- Etalonnage et cotation du niveau de présomption de risque (*entre 0 et 100%*) à partir des fourchettes de notes issues du retour d'expérience de l'application de chaque méthode sur le parc testé
- Quantification du poids de chaque critère harmonisé (*en %*) sur la note finale

	Catégorie de paramètres d'analyse de risque	RTRI		AROSA			
		Score	Score modifié*	Niveau de risque (%)	Note		
1	Conditions environnementales (topographie,écoulement et nature du sol)	5	15	4%	9%	3,6	Aléa
2	Réduction du lit	15	0	0%	0%	0,2	
3	Affouillement et dégradation du lit	10	0	0%	0%	0	
4	Obstacle à l'écoulement (piles, embacles et alluvions) et emplacement des piles	20	20	6%	20%	8,1	
5	Existence d'un seuil	20	0	0%	0%	0	Vulnérabilité
6	Vulnérabilité des fondations	50,0	30,0	9%	13%	5	
7	Sensibilité des appuis	0	0	0%	4%	1,5	
8	Vulnérabilité du tablier	0	0	0%	1%	0,5	
9	Renforcement des piles	0	105	31%	0%	0	
		120,0	170,0	50%	47%	40	

Tableau montrant le poids des facteurs influençant sur le niveau de risque pour chacune des méthodes ARPSA et RTRI sur un cas d'ouvrage

Adaptation des méthodes en vue de la comparaison et stratégie d'expérimentation

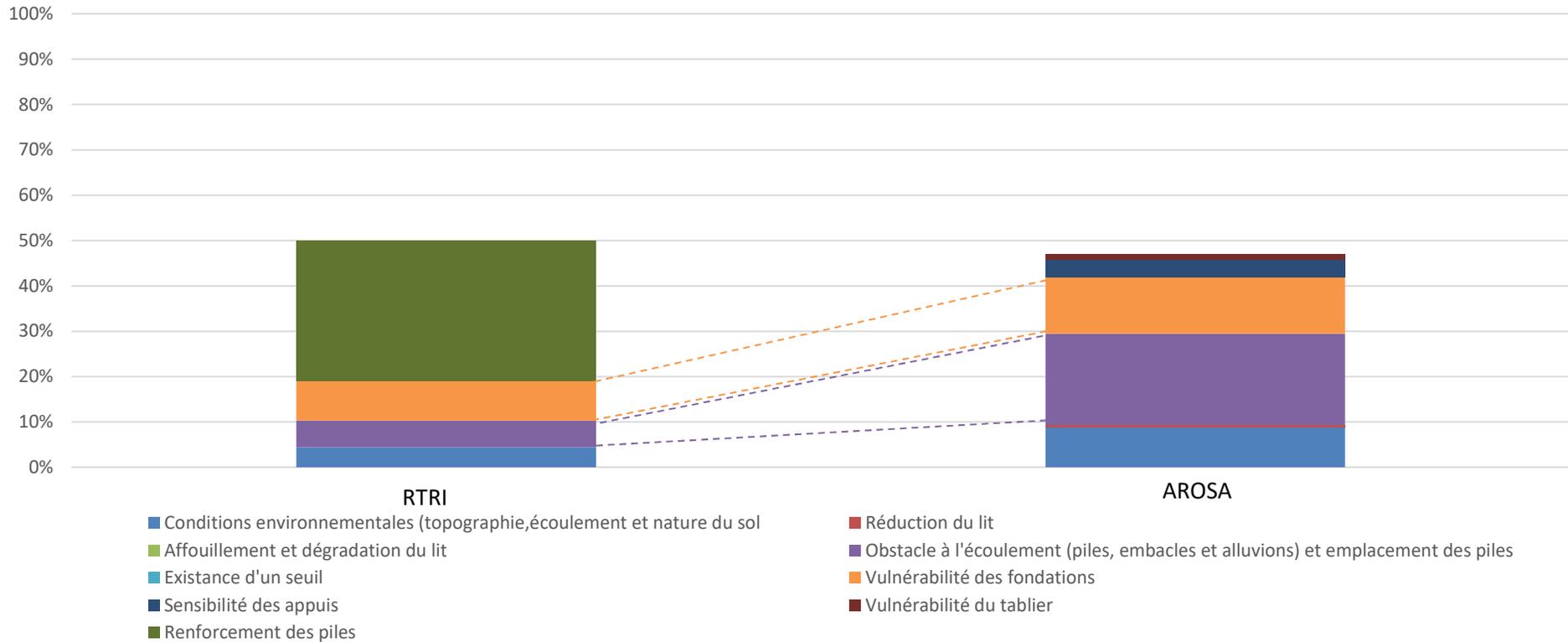
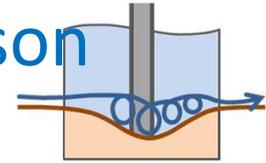
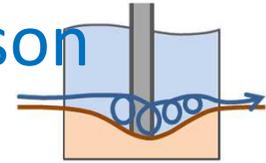
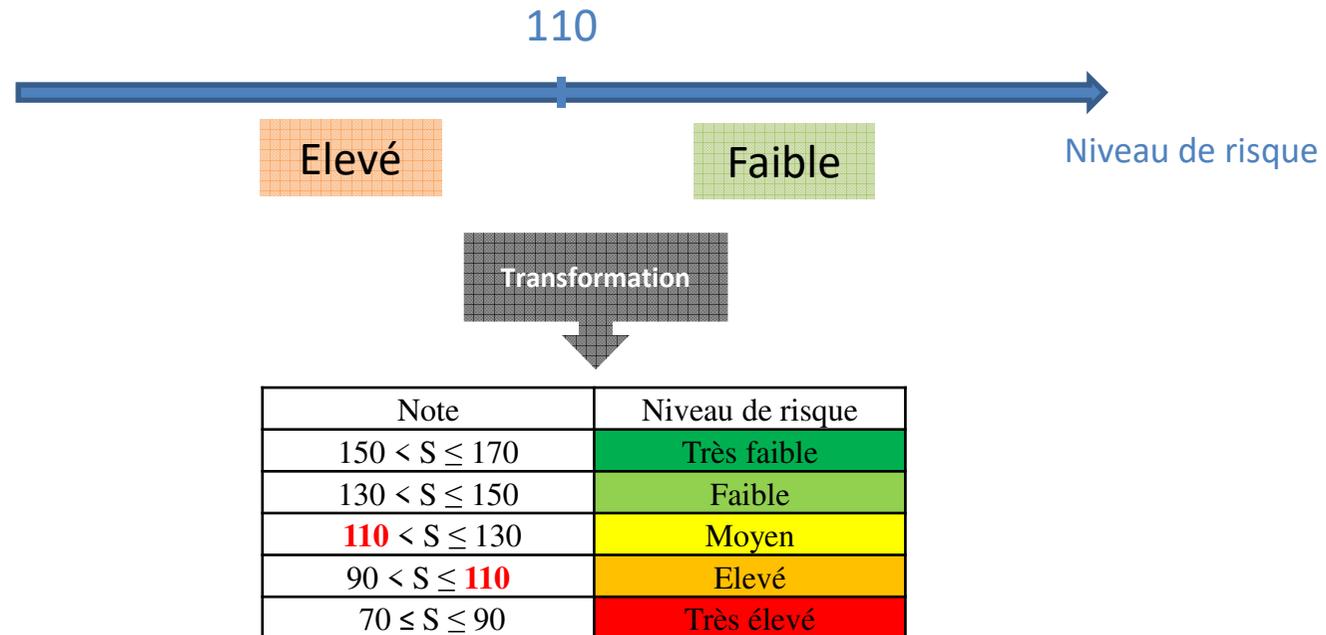


Diagramme illustrant le poids des facteurs influençant sur le niveau de risque pour chacune des méthodes ARPSA et RTRI sur un cas d'ouvrage

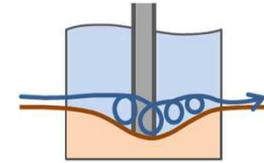
Adaptation des méthodes en vue de la comparaison et stratégie d'expérimentation



- Adaptations spécifiques de la méthode japonaise
 - Sensibilité globale de l'ouvrage assimilée au cas de la pile la plus défavorable
 - Inversion des indices de cotation partiels (*indice fort = risque élevé*)
 - Définition de 5 classes de présomption de risque :
 - Répartition équilibrée à partir des notes mini et maxi obtenues
 - Conservation du seuil de 110



Résultats et interprétation

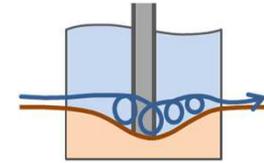


- Comparaison statistique à l'échelle du parc d'ouvrages testés

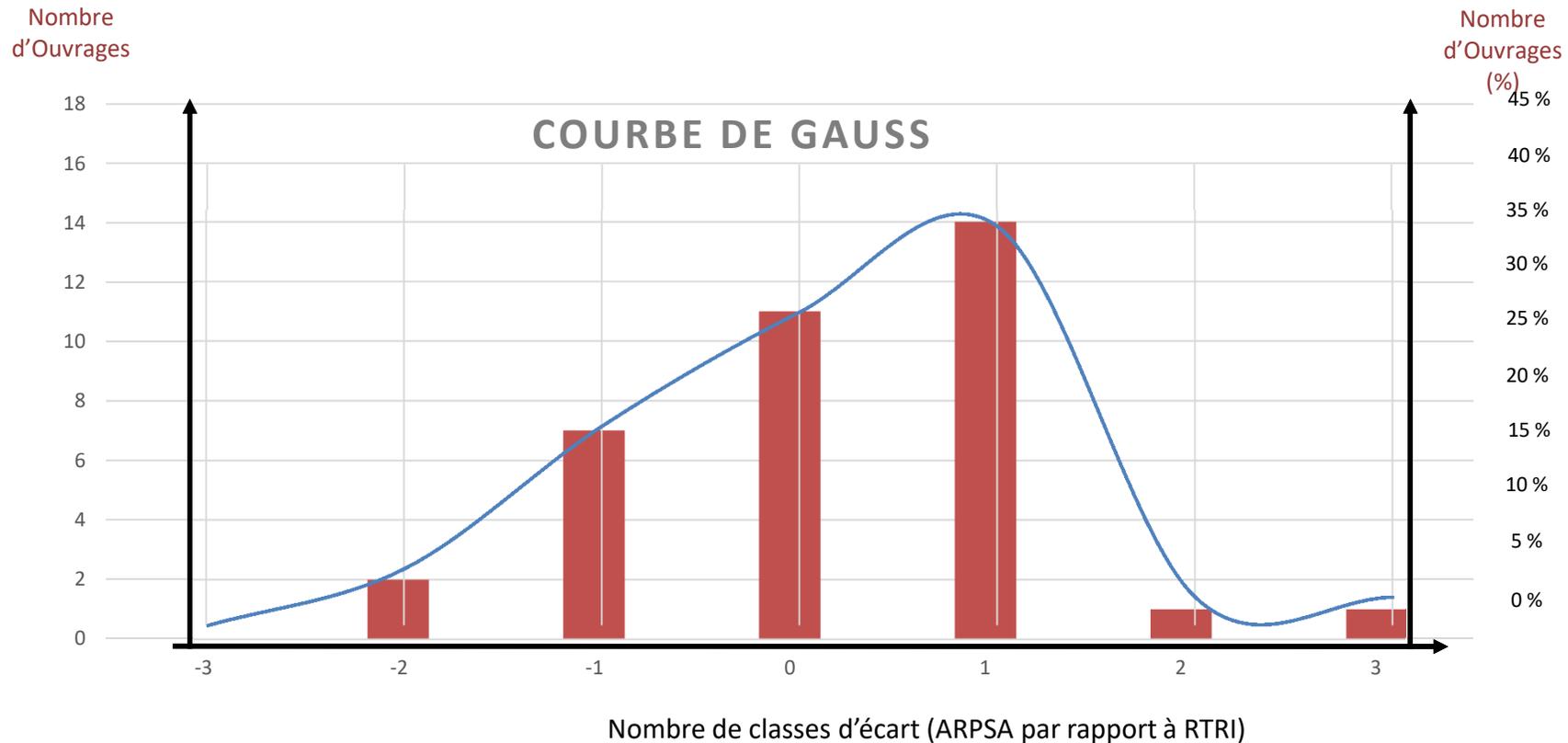
N°	Niveau de risque				Nombre de classes d'écart
	AROSA (phase 2)			RTRI	
	Aléa	Vulnérabilité	Criticité		
1	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	0
2	Moyen	Très faible	Faible	Moyen	-1
3	Moyen	Très faible	Faible	Moyen	-1
4	Elevé	Très faible	Faible	Elevé	-2
5	Elevé	Très faible	Faible	Moyen	-1
6	Elevé	Moyen	Elevé	Moyen	1
7	Très Elevé	Très faible	Faible	Faible	0
8	Très Elevé	Très faible	Faible	Faible	0
9	Très Elevé	Moyen	Elevé	Très Elevé	-1
10	Elevé	Faible	Moyen	Moyen	0
11	Elevé	Très faible	Faible	Moyen	-1
12	Très Elevé	Faible	Moyen	Faible	1
13	Elevé	Très faible	Faible	Faible	0
14	Très faible	Très faible	Très faible	Très faible	0
15	Très Elevé	Très faible	Faible	Très faible	1
16	Elevé	Moyen	Elevé	Moyen	1
17	Moyen	Faible	Faible	Faible	0
18	Moyen	Moyen	Moyen	Faible	1

19	Elevé	Faible	Moyen	Très faible	-2
20	Elevé	Très Elevé	Très Elevé	Moyen	2
21	Moyen	Très Elevé	Elevé	Elevé	0
22	Elevé	Moyen	Elevé	Moyen	1
23	Elevé	Très Elevé	Très Elevé	Elevé	1
24	Elevé	Très Elevé	Très Elevé	Elevé	1
25	Elevé	Elevé	Elevé	Elevé	0
26	Très Elevé	Elevé	Très Elevé	Faible	3
27	Faible	Faible	Faible	Très faible	1
28	Faible	Moyen	Faible	Moyen	-1
29	Moyen	Faible	Faible	Moyen	-1
30	Moyen	Elevé	Elevé	Moyen	1
31	Moyen	Très Elevé	Elevé	Moyen	1
32	Elevé	Moyen	Elevé	Moyen	1
33	Très Elevé	Très Elevé	Très Elevé	Très Elevé	0
34	Moyen	Très faible	Faible	Très faible	1
35	Moyen	Très faible	Faible	Très faible	1
36	Elevé	Très Elevé	Très Elevé	Très Elevé	0

Résultats et interprétation

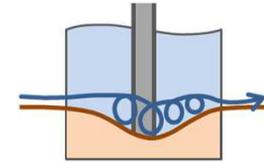


- Comparaison statistique à l'échelle du parc d'ouvrages testés

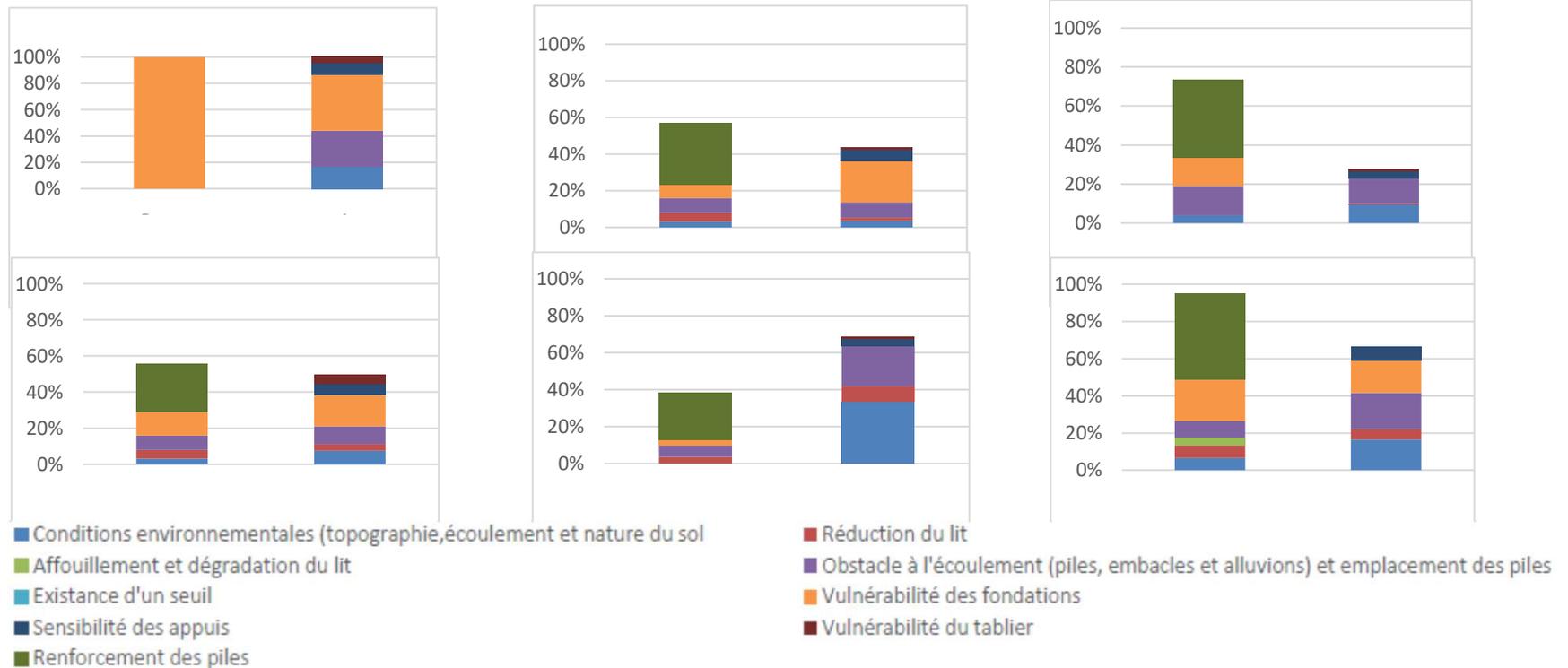


- ➡ Corrélation globale très satisfaisante (*env. 90% des OA présentent un écart ≤ 1 classe*)
- ➡ Approche RTRI plus sélective (*- défavorable sans doute en raison d'un contexte d'exposition plus sévère*)

Résultats et interprétation



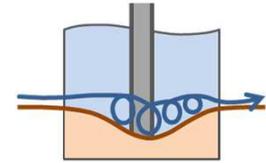
• Comparaison ouvrage par ouvrage



➔ Certaines divergences notables observées, relatives en particulier :

- À la pondération différente des différents critères entre les deux méthodes
- Au poids lié à la protection des fondations dans la méthode japonaise
- A la prise en compte de la sensibilité du tablier à un mouvement des fondations dans la méthode française

Résultats et interprétation

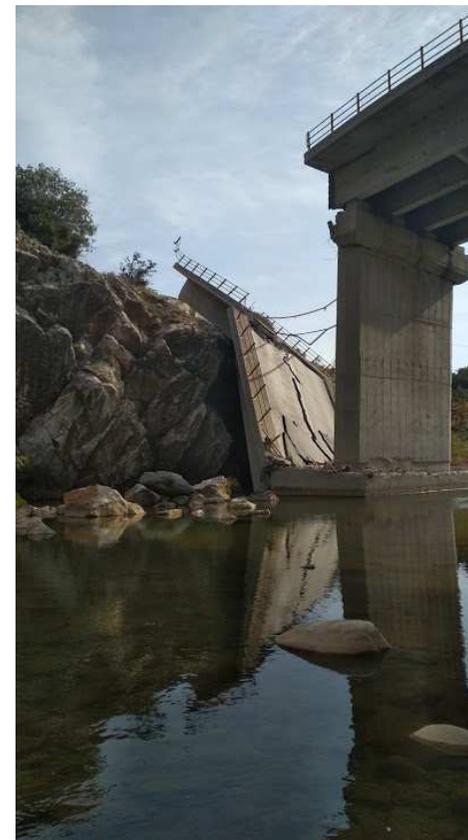


- Comparaison ouvrage par ouvrage

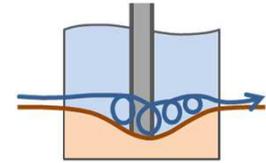
- Certaines divergences notables observées, relatives en particulier :
 - A la prise en compte de la sensibilité du tablier à un mouvement des fondations dans la méthode française



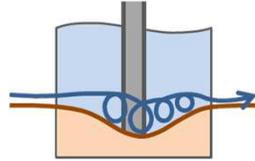
Le pont sur la rivière Kompsatos
(Grèce)



Conclusions



- Bien que développées indépendamment, les démarches française et japonaise convergent de manière très satisfaisante pour l'évaluation globale du risque à l'échelle du parc d'ouvrages testé
- L'approche japonaise apparaît plus sélective (- défavorable) en raison d'un contexte d'exposition plus sévère
- Ouvrage par ouvrage, certaines divergences notables sont observées
- Les principales différences sont liées à la prise en compte ou non de certains critères dans l'une ou l'autre des méthodes (*protection des fondations, existence de seuils, sensibilité du tablier à un mouvement des fondations...*)
- Le développement d'une méthode « mixte » concaténant de manière optimale les deux approches semble envisageable
- L'application de ce type de démarche d'analyse de risque doit rester prioritairement dédiée à l'évaluation préliminaire de sensibilité à l'échelle d'un parc d'ouvrages étendu en vue de prioriser les actions à mener, ... plutôt que pour quantifier le risque associé à un ouvrage individuel (*pour lequel une étude détaillée spécifique reste fortement recommandée*)



Journée publique de restitution
Mercredi 11 Septembre 2019, Marne-la-Vallée

Merci pour votre attention.

Denis DAVI, Cerema Méditerranée, Aix en Provence

Nesrine YOUNSI, Mines Nancy, Université Lorraine, Nancy

Contact : denis.davi@cerema.fr

Pour aller plus loin :

- Guide méthodologique Cerema « Analyse de risque des ponts en site affouillable » (2019)
- Takayanagi T., Naito T., Manome R. & Nunokawa O. (2018). Evaluation method using score table for identifying bridge piers vulnerable to scouring in Japan. 9th International Conference on Scour and Erosion (ICSE), Nov. 5-8, Taipei, Taiwan.
- Takayanagi T., Durand E., Davi D., Chevalier C., Cheetham M., Naito N., Sanagawa T., Watanabe K. (2019). Scour risk management at bridges - A comparison of Japanese and French scoring methodologies. 12th World Congress on Railway Research (WCRR), Oct. 22 - Nov. 1, Tokyo, Japan.
- Rapport de stage Nesrine Younsi (Univ. Lorraine) – *à paraître*