



Cerema

Adaptation au changement climatique en milieux urbains

Étude de cas appliquée aux réseaux de transport Marseillais

Nicolas FURMANEK / Cerema DTecTV / Lyon

Bertrand VEDOVATI / Cerema DTerMed / Aix-en-Provence

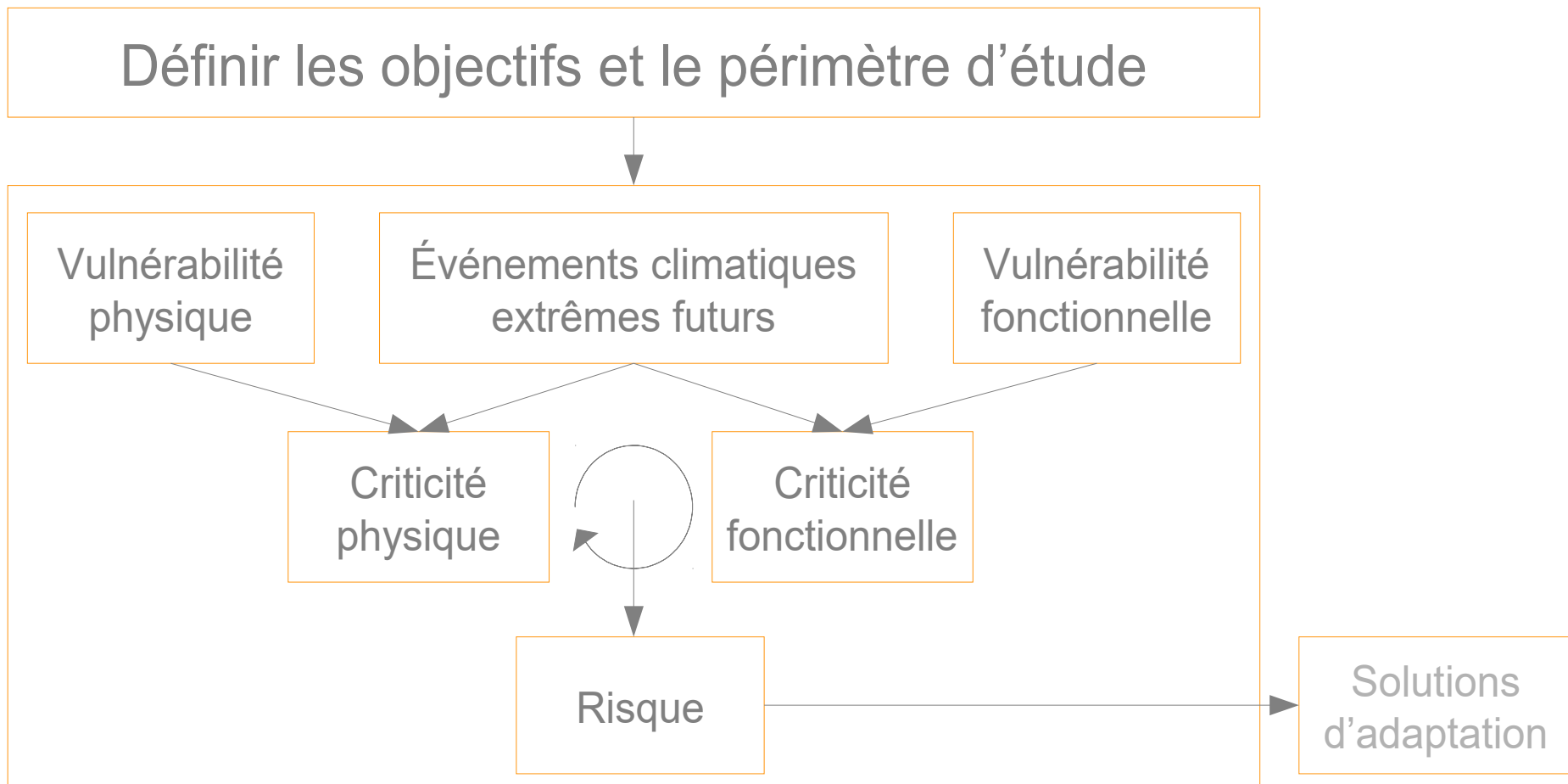
Contexte de l'étude

- **Actions 3 et 4 du volet transport du PNACC** : définir une méthodologie pour réaliser des diagnostics de vulnérabilité, établir un état de vulnérabilité des réseaux de transport terrestres
- **Financement** : étude prévue dans le cadre de la programmation PNACC de la DGITM
- **Pilotage** : Cerema Direction Territoires et Ville (Lyon)
- **Réalisation** : Cerema Méditerranée (proximité territoriale)
- **Collaboration** : Métropole Aix Marseille Provence
DIR Méditerranée, SNCF Réseau



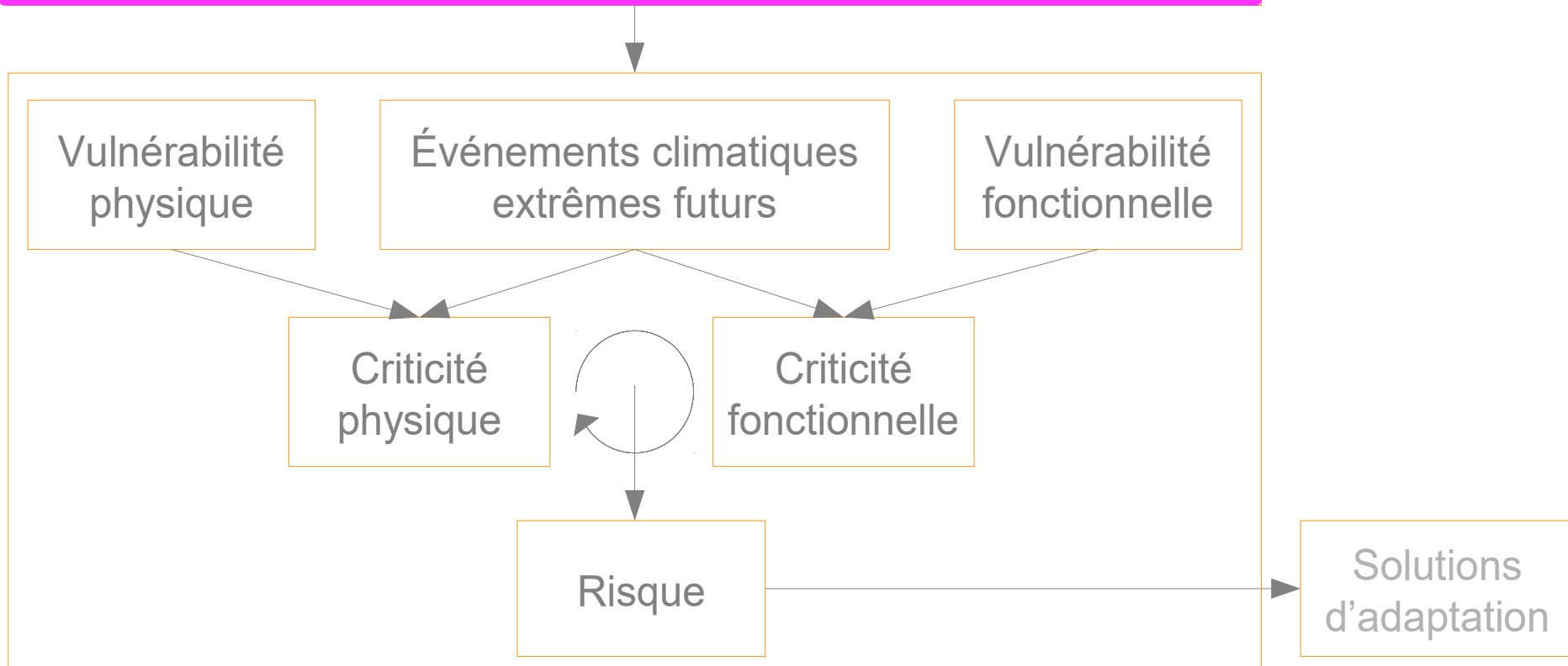
Une collaboration étroite avec le territoire **indispensable**

Principes de la méthodologie définie à ce jour :



Les objectifs et le périmètre

Définir les objectifs et le périmètre d'étude



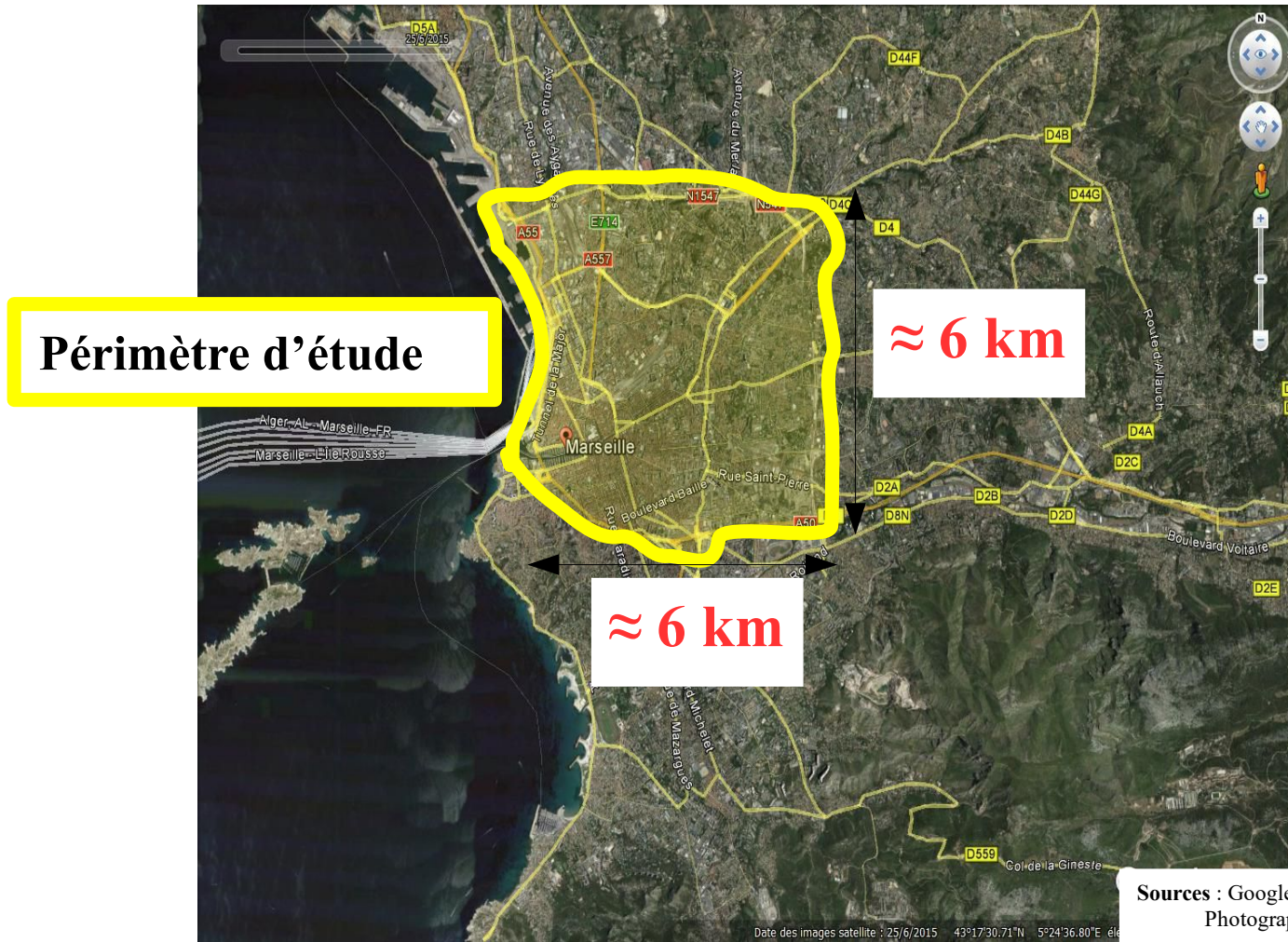
Les objectifs de l'étude

➤ **appliquer la méthodologie sur un territoire urbain dense (concentration importante d'infrastructures et de réseaux de transport, pôles d'échanges multimodaux...) exposé à des événements climatiques extrêmes :**

=> apports méthodologiques via des retours d'expérience

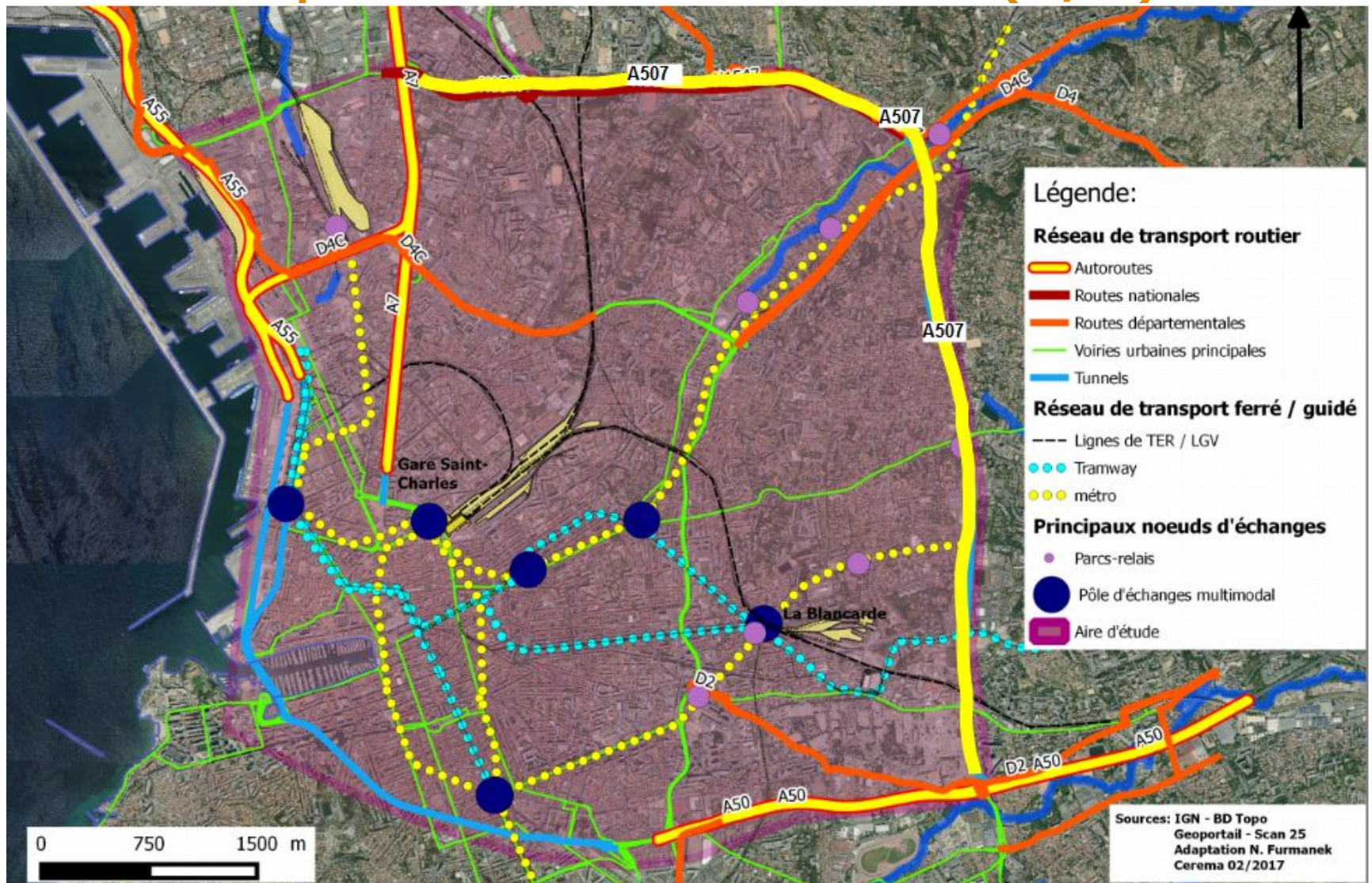
- **Identifier les vulnérabilités physiques et fonctionnelles du réseau de transport marseillais en lien avec les exploitants de ces réseaux**
- **Permettre à d'autres collectivités de s'inspirer de l'exemple marseillais pour mettre en œuvre leurs propres études de vulnérabilité.**

Le périmètre de l'étude (1/2)



Sources : Google Earth
Photographie aérienne de 2015

Le périmètre de l'étude (2/2)



La connaissance des événements climatiques extrêmes

Définir les objectifs et le périmètre d'étude

Vulnérabilité
physique

Événements climatiques
extrêmes futurs

Vulnérabilité
fonctionnelle

Criticité
physique

Criticité
fonctionnelle

Risque

Solutions
d'adaptation

La connaissance des événements climatiques extrêmes

La démarche mise en œuvre

- Caractérisation des conditions climatiques de fond (données Météo-France)
- Recensement, caractérisation puis évaluation des événements climatiques extrêmes historiques et actuels impactant le territoire d'étude (et leurs REX) (données prim.net et Météo-France)
(→ notation)
- Caractérisation puis évaluation des événements climatiques futurs potentiels par horizon temporel et par scénario climatique
(→ notation de l'évolution)

Évaluation des événements climatiques extrêmes et leur évolution

Qualification des événements climatiques extrêmes

- **Événements météorologiques extrêmes :**
 - Orages, pluies extrêmes
 - Épisodes de canicule et de vagues de chaleur
 - Vents violents
 - Plus ponctuellement, épisodes neigeux exceptionnels, verglas, grands froids...
- **Événements climatiques « induits » :**
 - Inondations
 - Épisodes de sécheresse
 - Feux de forêt
 - Mouvements de terrain

Évaluation des événements climatiques extrêmes et leur évolution

Qualification des événements climatiques extrêmes



Marseille paralysée en 2009

Source image : econostrum.info

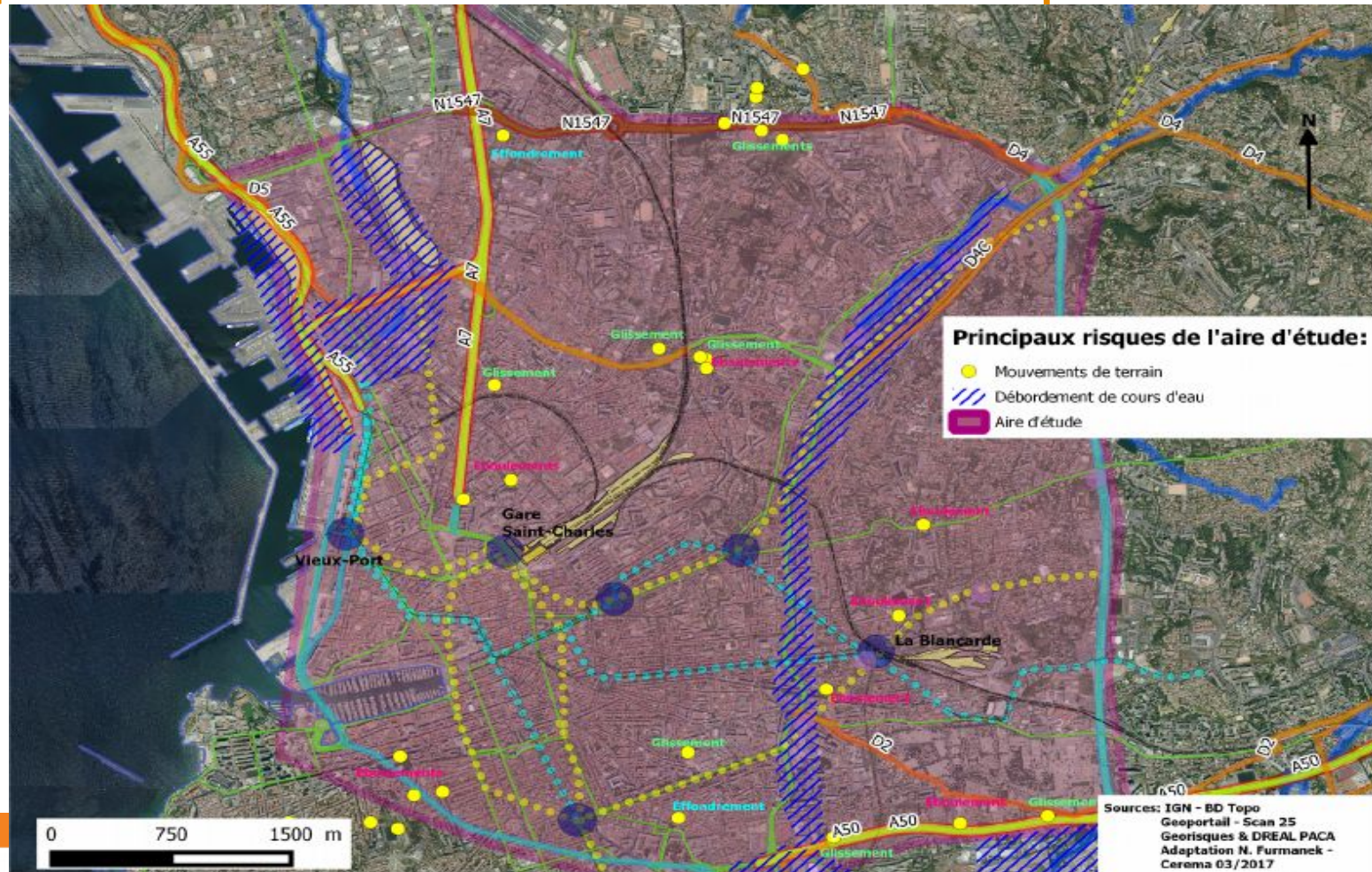


Impacts indirects :
feux de forêt au nord de Marseille (août 2016)
= autoroutes coupées

Source image : Le Monde

Évaluation des événements climatiques extrêmes et leur évolution

Qualification des événements climatiques extrêmes



La connaissance des événements climatiques extrêmes

La démarche mise en œuvre

- Caractérisation des conditions climatiques de fond (données Météo-France)
- Recensement, caractérisation puis évaluation des événements climatiques extrêmes historiques et actuels impactant le territoire d'étude (et leurs REX) (données prim.net et Météo-France) (→ notation)
- Caractérisation puis évaluation des événements climatiques futurs potentiels par horizon temporel et par scénario climatique (→ notation de l'évolution)

Évaluation des événements climatiques extrêmes et leur évolution

Choix des hypothèses d'évolution

- Un outil d'évaluation : Drias



- Les hypothèses de l'étude :

- **Scénarios d'émission de GES retenus :**

- *scénario médian (RCP 4,5)*
- *scénario défavorable (RCP 8,5)*

- **Modèle climatique retenu : Aladin-Climat**

- **Des horizons temporels : de court (2035), moyen (2060) à long terme (2085)**

Évaluation des événements climatiques extrêmes et leur évolution

Résultats issus des projections climatiques

événements climatiques liés à la température	Horizon	Scénario	Modèle été Aladin-Climat	Evolution des données été au regard de la période de référence	Pourcentage d'évolution (saison été)	Note attribuée (saison été)
Extrême chaud de la température maximale (°C)	1971-2005	Référence	30,9			
	2020-2050	4.5	33,0	2,1	6,6	2
	2045-2075		33,7	2,8	9,1	2
	2070-2100		34,7	3,8	12,3	2
	2020-2050	8.5	32,8	1,8	6,0	2
	2045-2075		34,7	3,8	12,3	2
	2070-2100		36,9	6,0	19,4	2
Extrême froid de la température minimale (°C)	1971-2005	Référence	13,6			
	2020-2050	4.5	14,9	1,3	9,3	1
	2045-2075		15,5	1,9	14,0	1
	2070-2100		16,2	2,6	19,2	1
	2020-2050	8.5	15,1	1,5	10,7	1
	2045-2075		16,9	3,3	23,9	1
	2070-2100		18,5	4,9	35,6	1
Nombre de jours de anormalement chauds (Tmax > 5°C par rapport à la normale)	1971-2005	Référence	5			
	2020-2050	4.5	15	10	202,9	4
	2045-2075		18	13	272,0	4
	2070-2100		27	22	450,5	4
	2020-2050	8.5	13	8	160,9	4
	2045-2075		29	24	485,9	4
	2070-2100		51	46	945,0	4

Évaluation des événements climatiques extrêmes et leur évolution

Notation des événements climatiques extrêmes

Événements climatiques extrêmes	Période de référence	Période de projection : horizon proche		Période de projection : horizon moyen		Période de projection : horizon lointain	
	Note attribuée	Note attribuée	Evolution de notation	Note attribuée	Evolution de la notation	Note attribuée	Evolution de la notation
Inondations	1	1	0	2	1	2	1
Vagues de chaleur et canicule	1	4	3	4	3	4	3
Sécheresses	1	1	0	1	0	2	1
Feux de forêt	4	4	0	4	0	4	0
Tempêtes et vents violents	1	1	0	1	0	1	0
Mouvements de terrain	1	2	1	3	2	4	3
Épisodes de gel et épisodes neigeux exceptionnels	1	1	0	1	0	1	0

Évènements climatiques extrêmes déjà enregistrés :

- Précipitations extrêmes : **221 mm en 4 heures** le 01/10/1892
193,6 mm cumulées en 24h le 01/12/2003
- des inondations inévitables : jusqu'à 1m d'eau en ville
- des crues exceptionnelles : exemple de l'Huveaune les 16 et 17 janvier 1978 avec plus de 1m d'eau sur A50.



Évènements climatiques extrêmes déjà enregistrés :

Le jour où toute la ville a été submergée

19/09/2000

La pluie diluvienne a rapidement noyé le cœur de Marseille. Plus aucune voiture ne pouvait y accéder dans la soirée. Conséquence : les autoroutes et toutes les voies d'accès au centre ont été paralysées

Il était 17 heures environ. Et les Marseillais commençaient à quitter les bureaux.

Quatre heures plus tard, des milliers d'entre eux n'avaient toujours pas regagné leur foyer, coincés dans les embouteillages pour les plus chanceux et emportés par les torrents pour les autres.

L'orage d'hier a provoqué des scènes spectaculaires et particulièrement périlleuses, surtout en centre-ville.

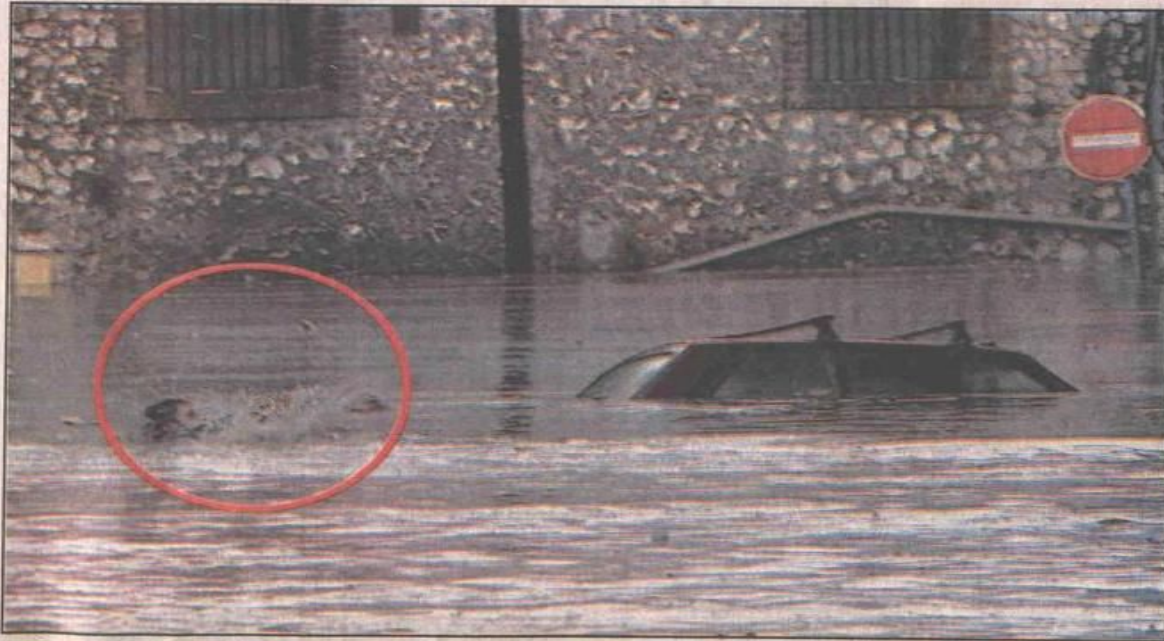
On a cru vivre un cauchemar autour du Vieux-Port où le niveau de la mer a atteint celui du quai, par endroits.

L'averse était tellement violente que la RTM, de son côté, s'est empressée de fermer les bouches de métro -- où l'eau commençait à s'introduire -- sans savoir si elle les rouvrirait aujourd'hui.

Les pompiers ont donc rapidement mis les gros moyens en mobilisant 300 hommes tandis que la Seram, qui gère le réseau d'assainissement, a fait appel à 150 employés.

Bouchon monstre

Par voie de conséquence, les autoroutes convergeant vers un centre-ville qui ne pouvait absorber plus aucune voiture, ont été vite frappées de paralysie.



Évènements climatiques extrêmes déjà enregistrés :

- Précipitations extrêmes : 221 mm en 4 heures le 01/10/1892 / 193,6 mm cumulées en 24h
 - des inondations inévitables : Jusqu'à 1m d'eau en ville
 - des crues exceptionnelles : exemple de l'Huveaune (16&17/01/1978) avec plus de 1m d'eau sur A50.
- **neige** : **25 cm** le 7 janvier 2009 (Marseille)
- **vent** : **162 km/h** le 31 août 1994 (Marignane)
- **T° mini** : **-14,3 °C** (13/02/1929 Obs. Longchamp Marseille)
- **T° maxi** : **40.6°C** (26/07/1983 Obs. Longchamp Marseille)

Évènements climatiques extrêmes déjà enregistrés :

- Des submersions temporaires



11/01/2017

Les vulnérabilités des infrastructures et des réseaux de transport

Définir les objectifs et le périmètre d'étude

Vulnérabilité physique

Événements climatiques extrêmes futurs

Vulnérabilité fonctionnelle

Criticité physique

Criticité fonctionnelle

Risque

Solutions d'adaptation

Les vulnérabilités des infrastructures et des réseaux de transport

- Réalisation des analyses de vulnérabilité physiques et fonctionnelles conformément à la méthodologie

Nature des réseaux	Dépendances à d'autres réseaux	Éléments du réseau	Systèmes	Composants (susceptibles d'être impactés par les paramètres climatiques)	Événements climatiques	Dommages directs (le sur le composant)	Dommages indirects (sur un autre composant du système ou sur le système)
Réseau routier			Ponts et ponceaux	Piles	Précipitations sévères	Fragilisations avec affouillement et érosion probables des fondations et des piles de pont pouvant aller jusqu'à la rupture de la pile en raison du débit accru du cours d'eau	Dommage global sur le système « pont » : Instabilité du système « pont » suivie de sa rupture
				Tablier (comprenant la chaussée, les trottoirs, la rambarde et le garde-corps)	Vagues de chaleur / élévation de la température (de l'air)	<p>élévation de la température de chaussée → Dégradation / vieillissement prématuré (vieillessement thermique des bitumes, ramollissement des mélanges bitumineux, <u>ombrage</u>, ressuage, fatigue, adhérence...)</p> <p>Modification du cycle de gel/dégel → diminution des performances structurelles et fonctionnelles (fissuration thermique, caractéristiques de surface, fatigue, adhérence)</p>	- Fermetures plus régulières du pont pour travaux de maintenance et d'entretien;
					Précipitations sévères	<p><u>Pluie</u> : Diminution des performances structurelles et fonctionnelles (sensibilité à l'eau, érosion, adhérence, <u>ombrage</u> lié à l'augmentation de la teneur en eau des fondations de la route)</p> <p><u>Neige</u> : Diminution des performances structurelles et fonctionnelles (perte d'adhérence, dégâts dus aux fondants et aux sels de <u>déverglaçage</u>...)</p>	Dégradation voire perte de la fonction circulaire du système « pont » (fermeture)
				Conditions atmosphériques (Rayonnement solaire, UV, <u>IR</u> , nuages)	-Accentuation du réchauffement/ du refroidissement de la température de chaussée -Accentuation du phénomène de gel-dégel → usure dégradée des couches de chaussée	- Usure accélérée des couches de chaussée (tablier) nécessitant une fermeture temporaire pour entretien / maintenance.	

Exemple de décomposition du réseau en infrastructures, scénarios d'impacts. Source : Cerema



Merci pour votre attention.

nicolas.furmanek@cerema.fr

bertrand.vedovati@cerema.fr