



VILLE DE NICE  
[www.nice.fr](http://www.nice.fr)

Agence Nationale de la Recherche  
ANR

citeres  
UMR 7324

POLYTECH  
TOURS  
Département Aménagement

# ÉVALUATION DE LA VULNÉRABILITÉ DU BÂTI FACE AU RISQUE SISMIQUE - VILLE DE NICE -

---

STAGE COLLECTIF

A. FERRARIS - S. JUAREZ - S. KNEFATI - M. MARTELES

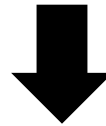
Référents universitaires : K. SERRHINI, E.M. SEDDIKI

Référents : Y. FERRAND - Y. DORGIGNE

2 septembre 2015

# Agence Nationale de la Recherche

Appel à projets : CSOSG « Concepts Systèmes et Outils pour la Sécurité Globale »



Système d'Aide à la Décision Multicritère pour la Logistique de l'Evacuation à Grande Echelle



Évacuation de la ville de  
Nice (2 stages)

Méthodologie  
d'évaluation de la  
vulnérabilité du bâti

# Sommaire

## Contextualisation

- I. État de l'art
- II. Méthode mise en place
- III. Traitement de l'échantillon
- IV. Résultats obtenus
- V. Généralisation

## Conclusion

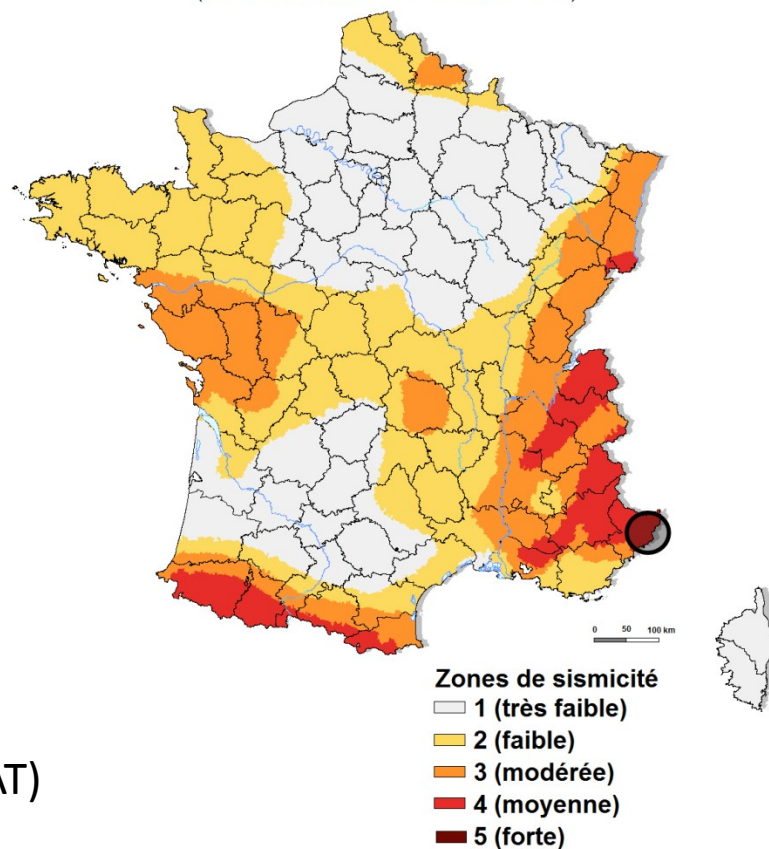
# Contextualisation



Source : Le risque sismique en région PACA, BRGM, 2010



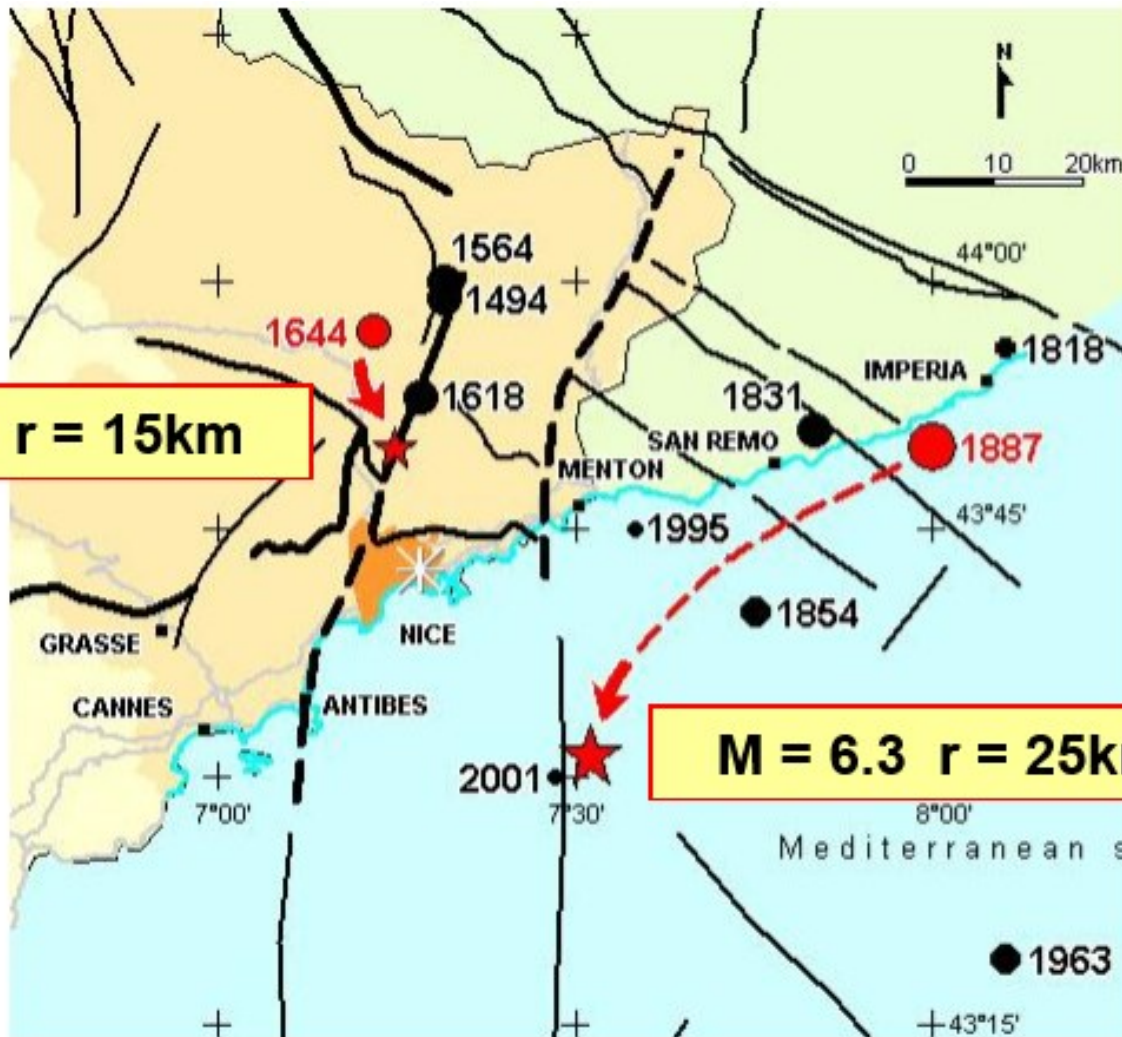
**Zonage sismique de la France**  
en vigueur depuis le 1er mai 2011  
(art. D. 563-8-1 du code de l'environnement)



Source : Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, en vigueur depuis le 1er mai 2011

- 344 460 habitants (Insee, 2012)
- 33 000 bâtiments habitables (BD-TOPO, OSM, JANNAT)
- 4 784 habitants par km<sup>2</sup> (Insee, 2012)

# Deux séismes passés



1 mort (1644)  
30 bâtiments  
évacués (1887)

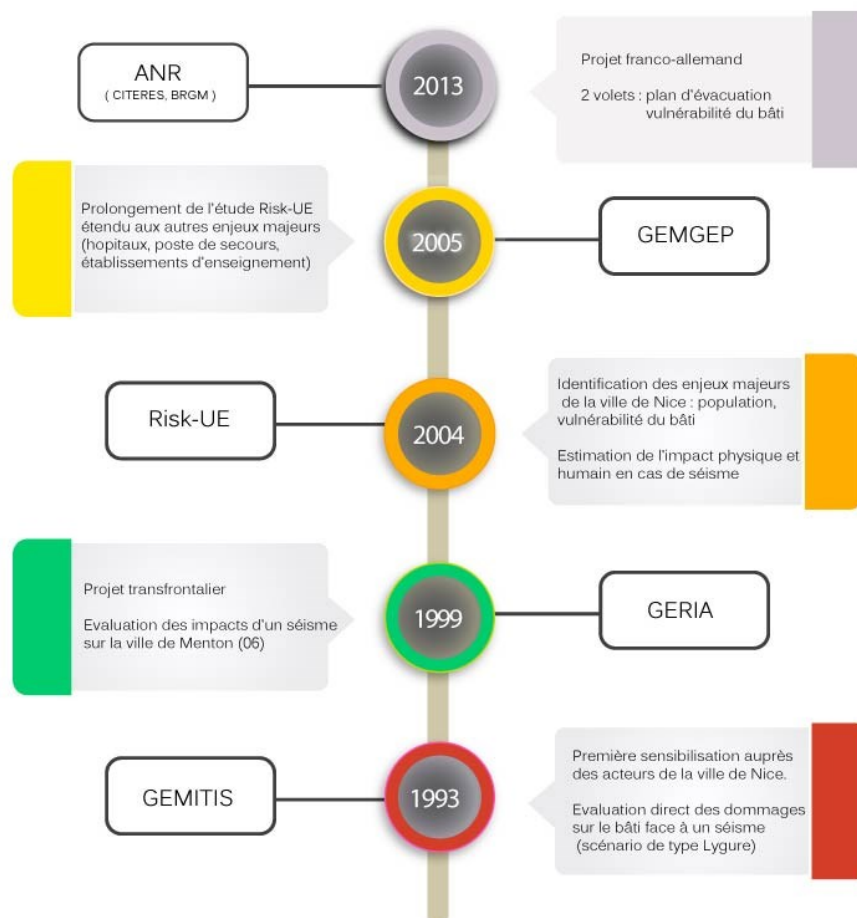
# Sommaire

## Contextualisation

- I. État de l'art
- II. Méthode mise en place
- III. Traitement de l'échantillon
- IV. Résultats obtenus
- V. Généralisation

## Conclusion

# Études précédentes sur Nice



Réalisation : A. Ferraris, S. Juarez, S. Knefati, M. Marteles, EPU DA4, juin 2015

État de l'art

Méthode

Traitement

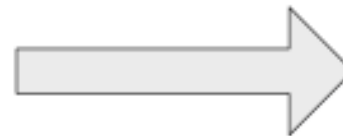
Résultats

Généralisation

# Définitions

**Risque sismique = Aléa x Vulnérabilité x Enjeux**

**Aléa sismique** → **V<sub>enjeux</sub>**



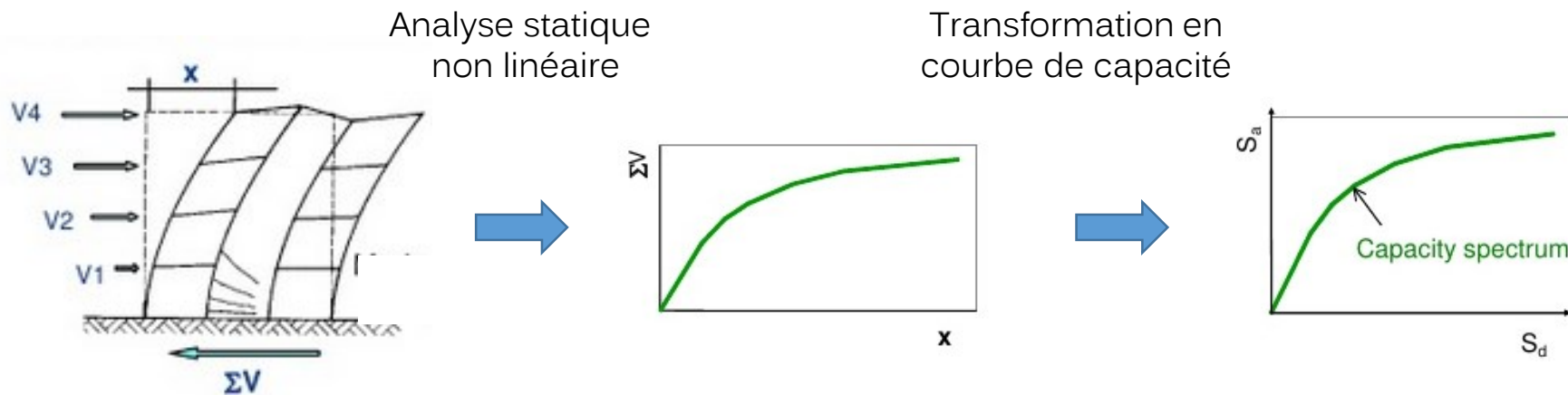
**Risque sismique**

*Réalisation : A. Ferraris, S. Juarez, S. Knefati,  
M. Marteles, EPU DA4, juin 2015*



# Les méthodes d'évaluation de la vulnérabilité du bâti

## Les méthodes analytiques (Push-over)



Charges sismiques horizontales

Source : « Méthodologies d'évaluation de la vulnérabilité sismique de bâtiments existants à partir d'une instrumentation in situ », Fabien DUCO, novembre 2012

# Les méthodes d'évaluation de la vulnérabilité du bâti

Les méthodes empiriques (Hazus, Risk-UE, EMS-98, GNDT-86)

1. Définition des typologies
2. Définition d'une échelle de dommages
3. Définition d'une fonction d'endommagement par type
4. Création d'une matrice de probabilité d'endommagement par type

Typologies	Risk-UE	EMS 98	HAZUS
Béton poteaux des années 30-50 moyen	RC3.1	RC1	C3
Béton poteaux des années 30-50 haut	RC3.1	RC1	C3
Béton poteaux des années 30-50 bas	RC4	RC2	C3
Béton murs des années 60	RC2	RC4	C2
Béton murs des années 70	RC2	RC5	C2

Source : GNDT

	Vertical	Horizontal
1	Pierre brutes	Voûte
2	Pierre taillée	Bois
3	Maçonnerie	Acier
4	Béton armé	Béton armé

Niveau de dommage	Description
1	Aucun
2	Insignifiant
3	Léger
4	Considérable
5	Sérieux
6	Très sérieux
7	Destruction partielle
8	Destruction totale

Exemple de matrice de probabilité d'endommagement pour un type de construction

MSK	Echantillon	Niveau de dommage							
		1	2	3	4	5	6	7	8
6	1870	81.55	12.03	4.33	1.07	0.7	0.32	0	0
7	1170	63.33	22.05	7.01	3.33	2.39	1.2	0.34	0.34
8	243	31.78	19.83	9.62	9.04	11.66	7.87	2.04	8.16



Atelier sismo - Sion 9 et 10 juin 2010



« Méthodes d'évaluation de la vulnérabilité sismique du bâti existant »  
Philippe GUEGUEN, Laboratoire de Géophysique Interne et Tectono-sismologique de la Méditerranée Occidentale (LGIT)  
« Méthodes d'évaluation de la vulnérabilité sismique des bâtiments existants à partir d'une instrumentation in situ », Fabien DUCO, novembre 2012

État de l'art

Méthode

Traitement

Résultats

Généralisation

# La notion d'échelle

<div><i>moyens mis en oeuvre</i></div> <div><div>-</div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div>						
--	--	--	--	--	--	--

« Méthodes d'évaluation de la vulnérabilité sismique du bâti existant »  
 Philippe GUEGUEN, Laboratoire de Geophysique Interne et  
 Tectonophysique Grenoble en collaboration avec R. Perruzzi, C. Martin, S.  
 Podesta, juin 2010

# La méthode Risk-UE

Calcul de l'indice de vulnérabilité :  $V_i$

$$V_i = V_i^* + \Delta V_m$$

$V_i^*$  : fonction de la typologie du bâtiment

$\Delta V_m$  : représente l'influence des différents facteurs pouvant influencer sur le comportement; somme des facteurs aggravants

# La méthode Risk-UE

Détermination de la typologie :  $V_I^*$

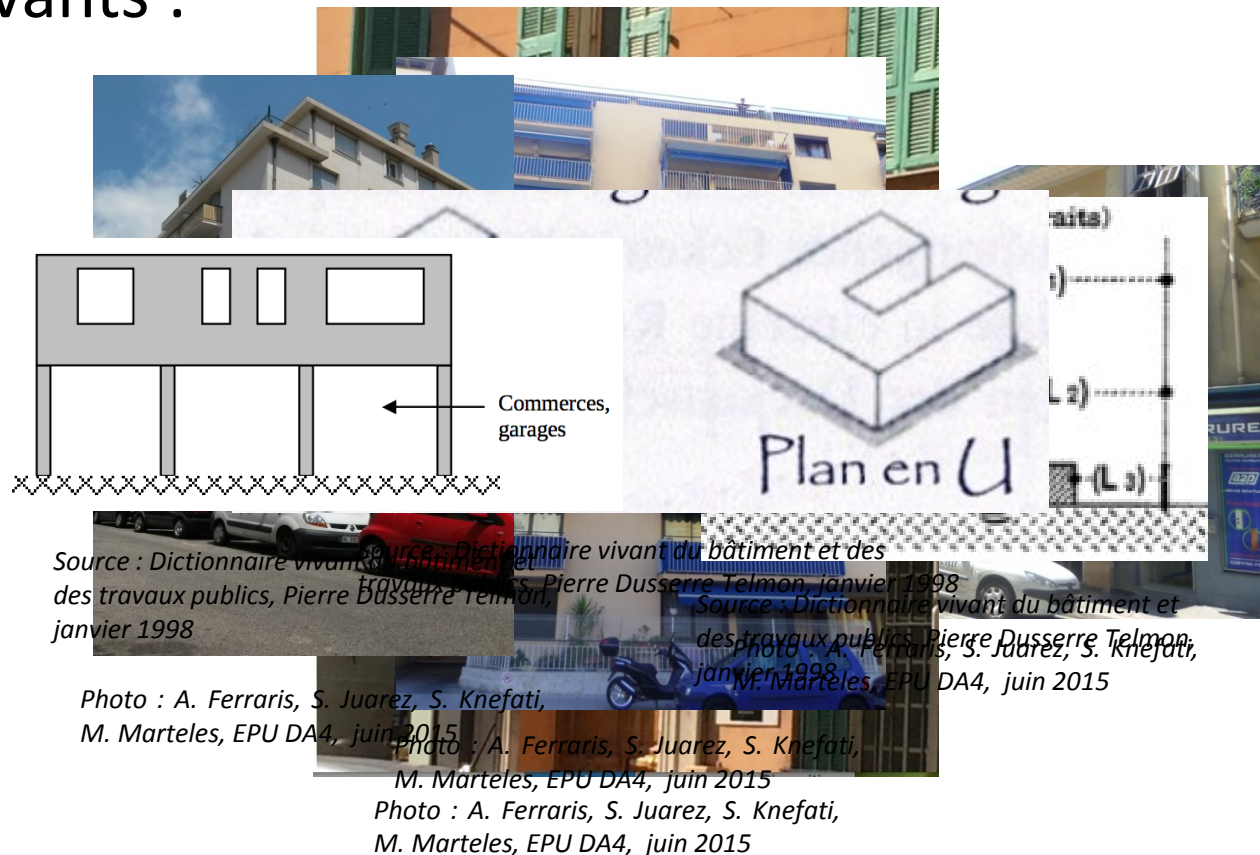
<i>Nom</i>	<i>Typologie</i>	$V_I^*$	<i>Nom</i>	<i>Typologie</i>	$V_I^*$
<b>M1.1</b>	Moellons	0.807	<b>RC3.1</b>	Mur de remplissage maçonnerie, structure régulière	0.462
<b>M1.2</b>	Pierres appareillées		<b>RC3.2</b>	Structure irrégulière	
<b>M1.3</b>	Pierre de taille	0.616	<b>RC4</b>	Structure mixte en BA (portiques et murs)	0.386
<b>M3.1</b>	Planchers bois	0.722	<b>RC5</b>	Murs en béton préfabriqué	0.384
<b>M3.3</b>	Planchers avec poutrelles métalliques et maçonnerie		<b>S1</b>	Poteaux/poutres acier	0.363
<b>M3.2</b>	Voûtes en maçonnerie	0.776	<b>S2</b>	Structure en acier contreventé	0.287
<b>M4</b>	Murs porteurs en maçonnerie armée ou confinée	0.45	<b>S3</b>	Poteaux/poutres acier + remplissage maçonnerie non armée	0.484
<b>RC1</b>	Poteaux/poutres béton	0.442	<b>W</b>	Structure en bois	0.447
<b>RC2</b>	Murs de refend béton	0.386			

Source : BRGM, rapport Risk-UE RP-53202-FR, septembre 2004

# La méthode Risk-UE

Les facteurs aggravants :

- Retrait
- Saillie
- Forme L ou C
- Protubérance
- Transparence



# La méthode Risk-UE

## Calcul des facteurs aggravants : $\Delta V_m$

### Bâtiments en béton et acier

Facteurs aggravants pour les bâtiments RC et acier	Facteurs de vulnérabilité		Code Bas	Code Moyen
Nb d'étages		Bas (1, 2 ou 3)	-0,04	-0,04
		Moyen (4, 5 ou 6)	0	0
		Haut (7 ou plus)	+0.08	+0.06
Irrégularité en plan	Forme (L, C)	Oui	+0.02	+0.01
		Non	0	0
Protubérance		Oui	+0.02	+0.01
		Non	0	0
Irrégularité élévation	Saillie	Oui	+0.02	+0.01
		Non	0	0
	Retrait	Oui	+0.02	+0.01
		Non	0	0
Joints insuffisants (non PS)		Oui	+0.04	0
		Non	0	0
Poteaux courts		Oui	+0.02	+0.01
		Non	0	0
Règles PS		Avant 1982 : L	+0.16	
		Après 1982 : M		0

### Bâtiments en maçonnerie

Facteurs aggravants pour les bâtiments en maçonnerie	Facteurs de vulnérabilité		
Etat d'entretien		B = bon	-0,04
		M = mauvais	+0.04
		Bas (1 ou 2)	-0,04
Nb d'étages		Moyen (3, 4 ou 5)	0
		Haut (6 ou plus)	+0.04
		Oui	+0.02
Irrégularité en plan	Forme (L, C)	Non	0
		Oui	+0.02
Protubérances		Non	0
		Oui	+0.01
Irrégularité élévation	Saillie	Non	0
		Oui	+0.01
Retrait		Oui	+0.01
		Non	0
Interaction entre bâtiment	Position dans l'îlot	A = angle	+0.04
		M = milieu	-0.04
		T = tête d'îlot	+0.06
	Différence de hauteur/voisin	Oui	+0.02
		Non	0
	Irrégularité en toiture	Oui	+0.04
		Non	0
	Décalage de plancher	Oui	+0.04
	Transparence - démolition	Oui	+0.04
	Balcons - cheminées	Oui	+0.01
	Etages: haut. différente	Oui	+0.04
		Non	0

Code bas : bâtiments construits avant 1982

Code moyen : bâtiments construits après 1982

Source : BRGM, rapport Risk-UE RP-53202-FR, septembre 2004

État de l'art

Méthode

Traitement

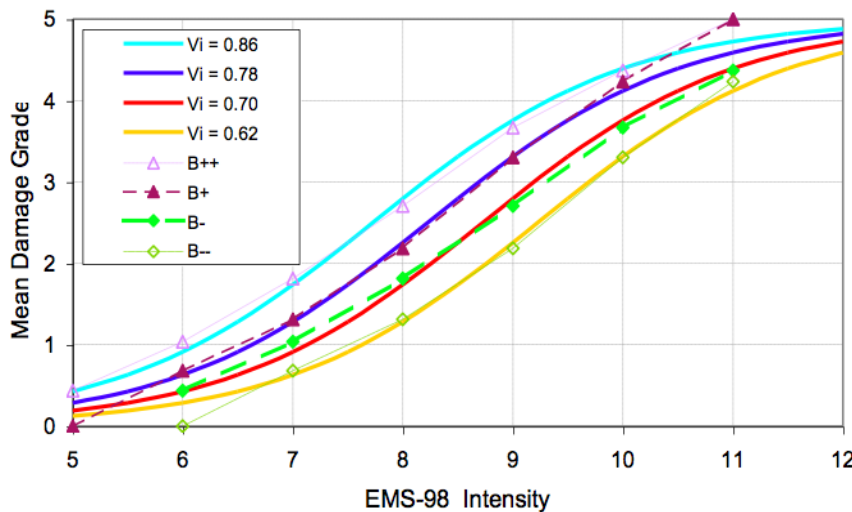
Résultats

Généralisation



# La méthode Risk-UE

## Courbe de vulnérabilité → Degré de dommages (EMS-98)



$$\mu_D = 2.5 \left[ 1 + \tanh \left( \frac{I + 6.25 V_I - 13.1}{2.3} \right) \right]$$

Classification des dégâts aux bâtiments en BETON ARME	
(Degré 0 (D0) : dégâts nuls)	
	<b>Degré 1 (D1) : Dégâts négligeables à légers</b> (aucun dégât légers dégâts non structuraux) Fissures fines dans le plâtre sur les parties de l'ossature ou sur les fissures fines dans les cloisons et les remplissages.
	<b>Degré 2 (D2) : Dégâts modérés</b> (dégâts structuraux légers structuraux modérés) Fissures dans les structures de types portiques (poteaux et poutres structures avec murs. Fissures dans les cloisons et les murs de ren des revêtements friables et du plâtre. Chute du mortier aux jonction panneaux des murs.
	<b>Degré 3 (D3) : Dégâts sensibles à importants</b> (dommages modérés, dommages non structuraux importants) Fissures dans les poteaux et dans les nœuds à la base de l'ossature extrémités des linéaux des murs avec des ouvertures. Ecaillage de béton, flambement des barres d'armature longitudinale. Fissures importantes dans les cloisons et les murs de remplissage, certains panneaux de remplissage.
	<b>Degré 4 (D4) : Dégâts très importants</b> (Dégâts structuraux dégâts non structuraux très importants) Fissures importantes dans les éléments structuraux avec défilance compression du béton et rupture des barres à haute adhérence ; p l'adhérence acier-béton ; basculement des poteaux. Ecoulement d poteaux ou d'un étage supérieur.
	<b>Degré 5 (D5) : Destruction</b> (Dégâts structuraux très importants) Effondrement total du rez-de-chaussée ou de parties de bâtiments.

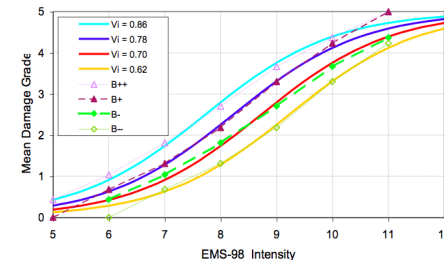
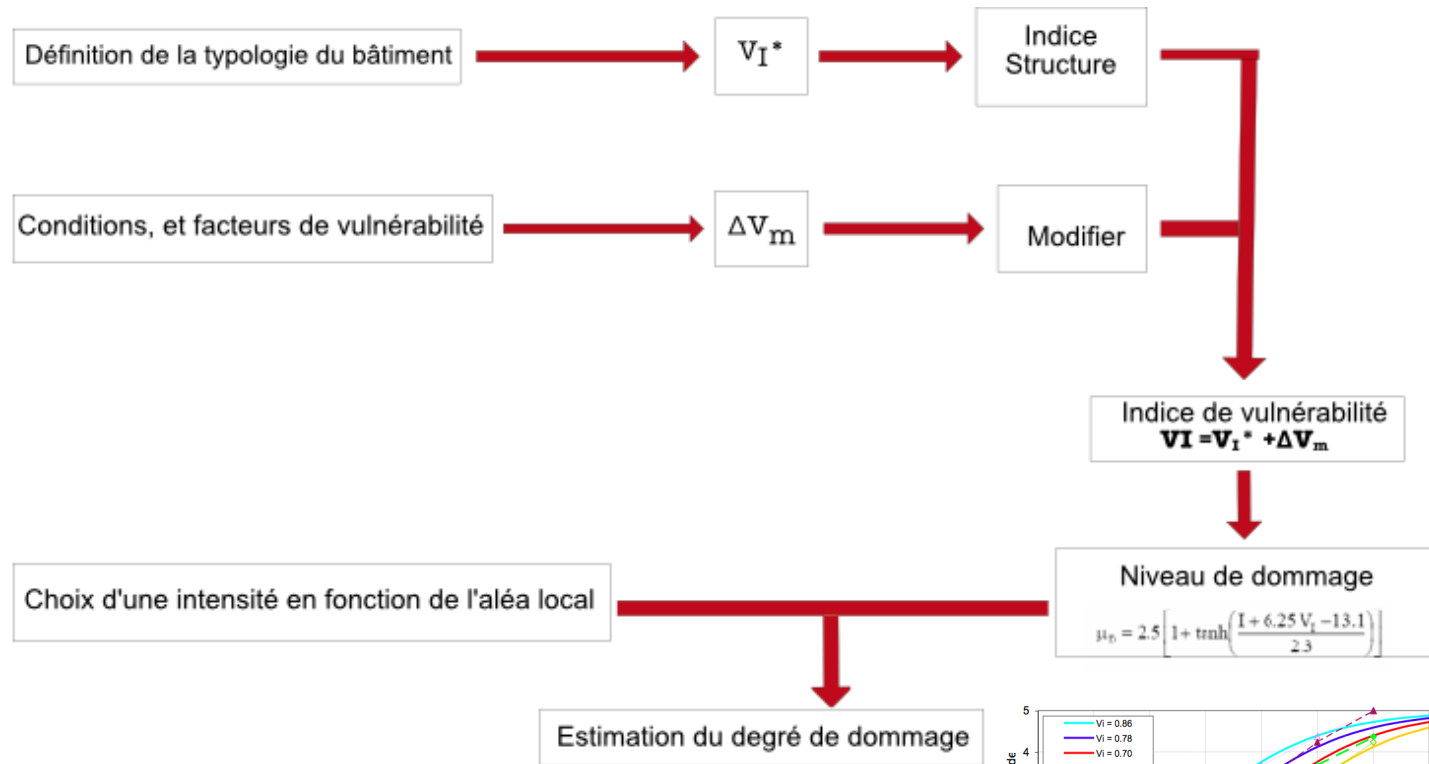
  

Classification des dégâts aux bâtiments en maçonnerie	
	<b>Degré 1: Dégâts négligeables à légers</b> (aucun dégât structural, légers dégâts non structuraux) Fissures capillaires dans très peu de murs. Chute de petits débris de plâtre uniquement. Dans de rares cas, chute de pierres descellées provenant des parties supérieures des bâtiments.
	<b>Degré 2: Dégâts modérés</b> (dégâts structuraux légers, dégâts non structuraux modérés) Fissures dans de nombreux murs. Chutes de grands morceaux de plâtre. Effondrement partiel des cheminées.
	<b>Degré 3: Dégâts sensibles à importants</b> (dégâts structuraux modérés, dégâts non structuraux importants) Fissures importantes dans la plupart des murs. Les tuiles des toits se détachent. Fractures des cheminées à la jonction avec le toit; défaillance d'éléments non structuraux séparés (cloisons, murs pignons).
	<b>Degré 4: Dégâts très importants</b> (dégâts structuraux importants, dégâts non structuraux très importants) Défaillance sérieuse des murs; défaillance structurale partielle des toits et des planchers.
	<b>Degré 5: Destruction</b> (dégâts structuraux très importants) Effondrement total ou presque total.

Source : BRGM, rapport Risk-UE RP-53202-FR, septembre 2004



# La méthode Risk-UE : récapitulatif



Réalisation : A. Ferraris, S. Juarez, S. Knefati,  
M. Marteles, EPU DA4, juin 2015

# Sommaire

## Contextualisation

- I. État de l'art
- II. Méthode mise en place**
- III. Traitement de l'échantillon
- IV. Résultats obtenus
- V. Généralisation

## Conclusion

# Une méthode adaptée

## L'échelle d'étude

Bâtiment d'étude



Bâtiments voisins  
au bâtiment d'étude

Photo : A. Ferraris, S. Juarez, S. Knefati,  
M. Marteles, EPU DA4, juin 2015

État de l'art

Méthode

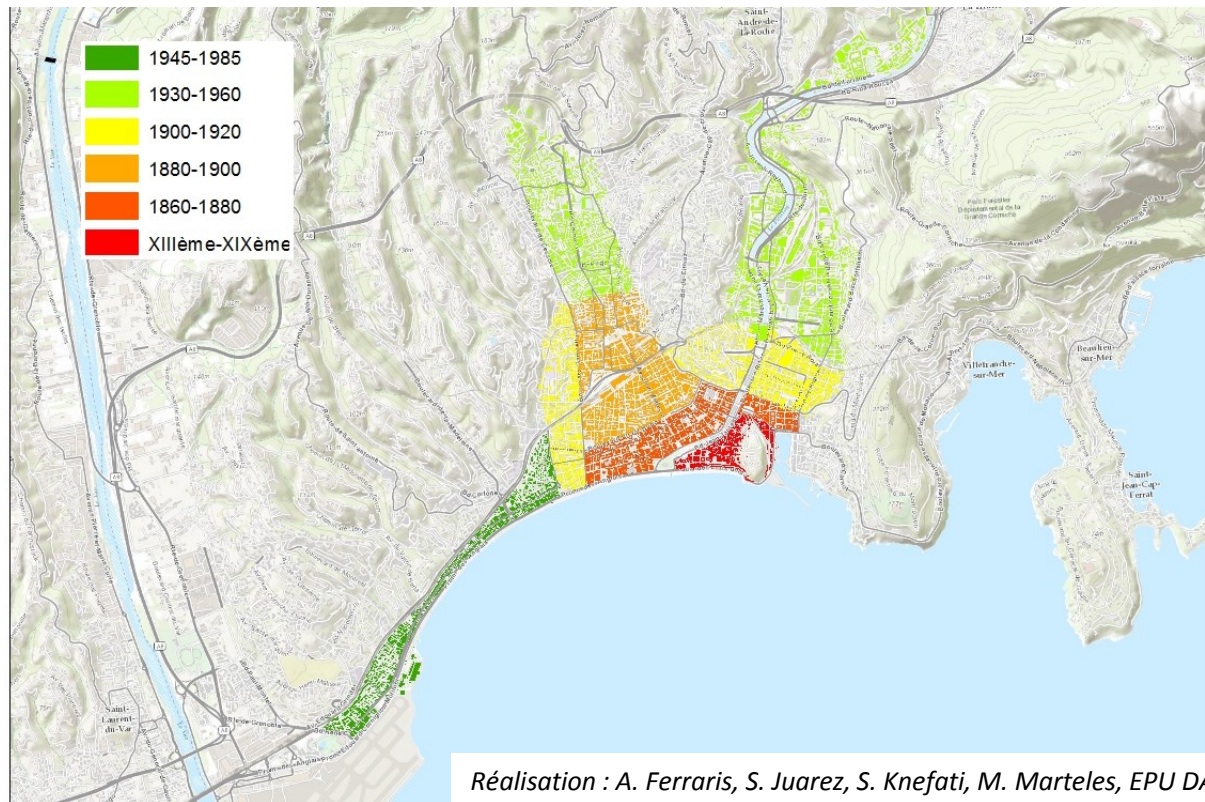
Traitement

Résultats

Généralisation

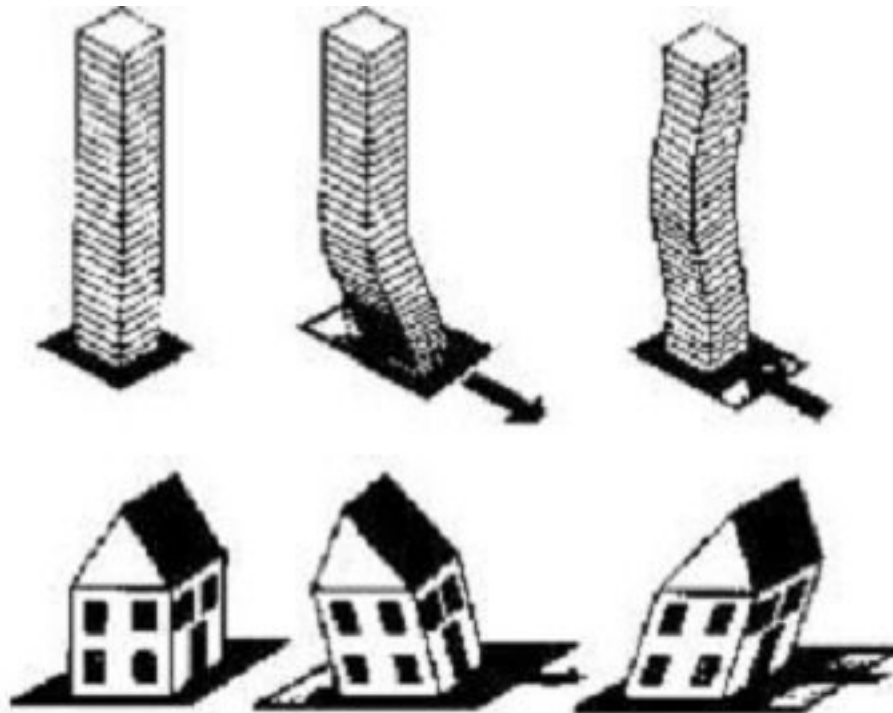
# Cinq critères d'étude

## La période de construction du bâtiment



# Cinq critères d'étude

## La hauteur du bâtiment



Source : site Internet intellego.fr, le 24 juin 2015

État de l'art

Méthode

Traitement

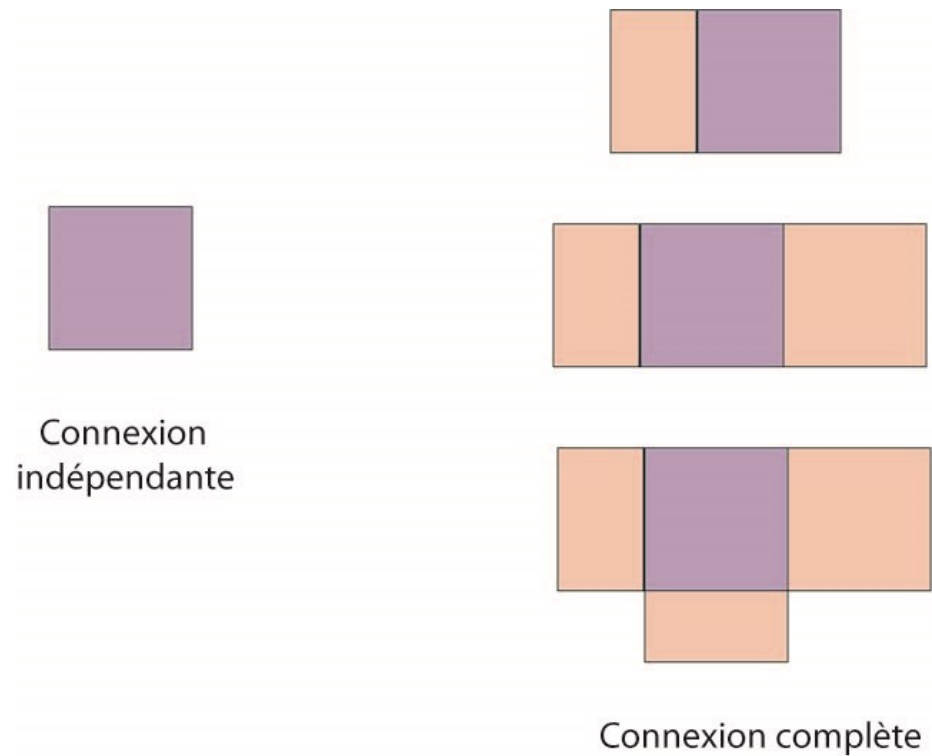
Résultats

Généralisation

# Cinq critères d'étude

## La connexion du bâtiment

- indépendant
- complète



Réalisation : A. Ferraris, S. Juárez, S. Knefati, M. Marteles, EPU DA4, juin 2015

# Cinq critères d'étude

## La position du bâtiment au sein de l'agrégal

Tête d'ilot	Milieu	Angle
		Angle

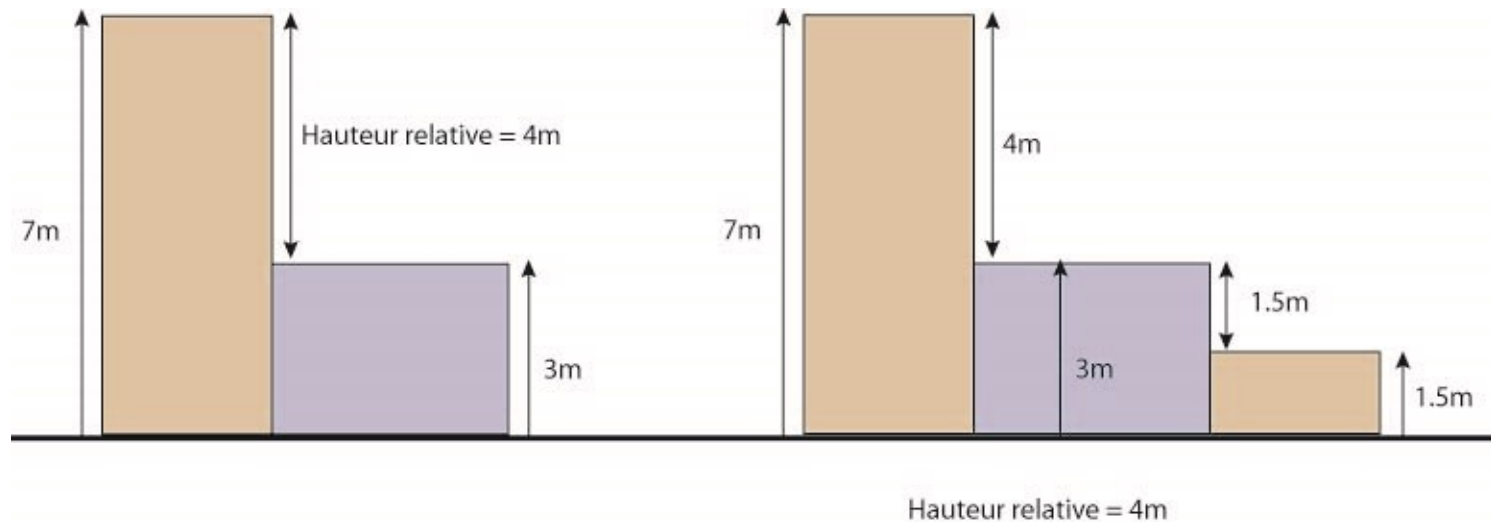
Tête d'ilot	Milieu	Milieu	Angle
		Milieu	Angle

Tête d'ilot	Milieu	Milieu	Angle
		Milieu	
			Milieu
			Angle

Réalisation : A. Ferraris, S. Juarez, S. Knefati, M. Marteles, EPU DA4, juin 2015

# Cinq critères d'étude

## L'irrégularité en élévation ou hauteur relative

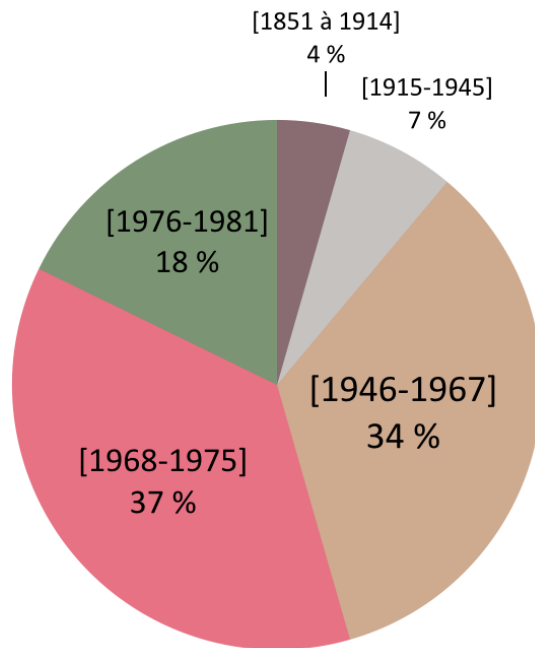


Réalisation : A. Ferraris, S. Juarez, S. Knefati, M. Marteles, EPU DA4, juin 2015

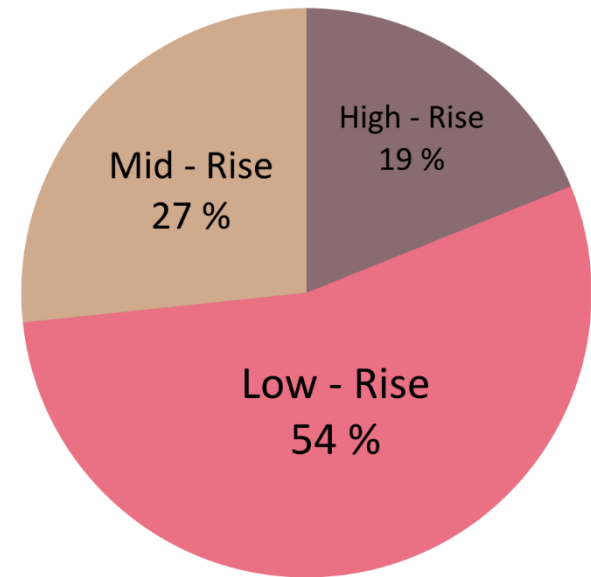


# Échantillonnage

## Méthode d'échantillonnage aléatoire stratifié



Périodes de construction

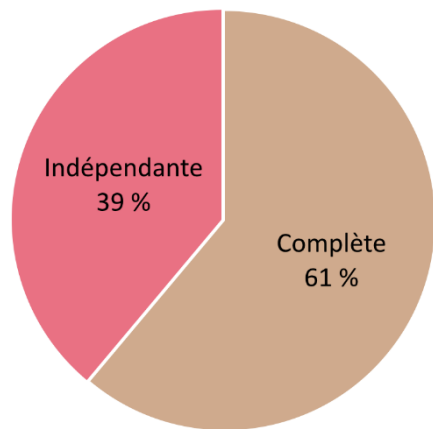


Hauteur de construction

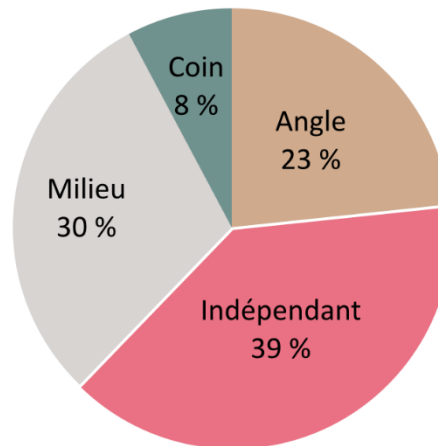
Réalisation : A. Ferraris, S. Juarez, S. Knefati, M. Marteles, EPU DA4, juin 2015

# Échantillonnage

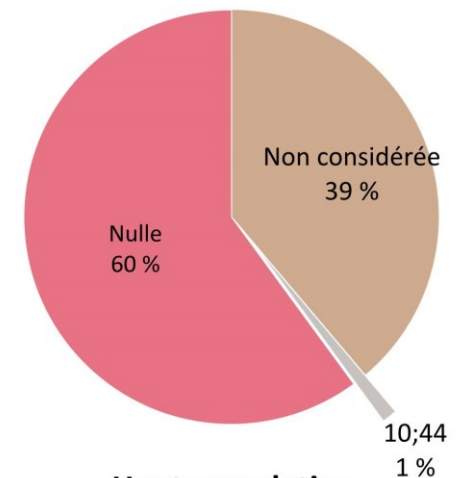
## Méthode d'échantillonnage aléatoire stratifié



**Connexion inter-bâtiments**



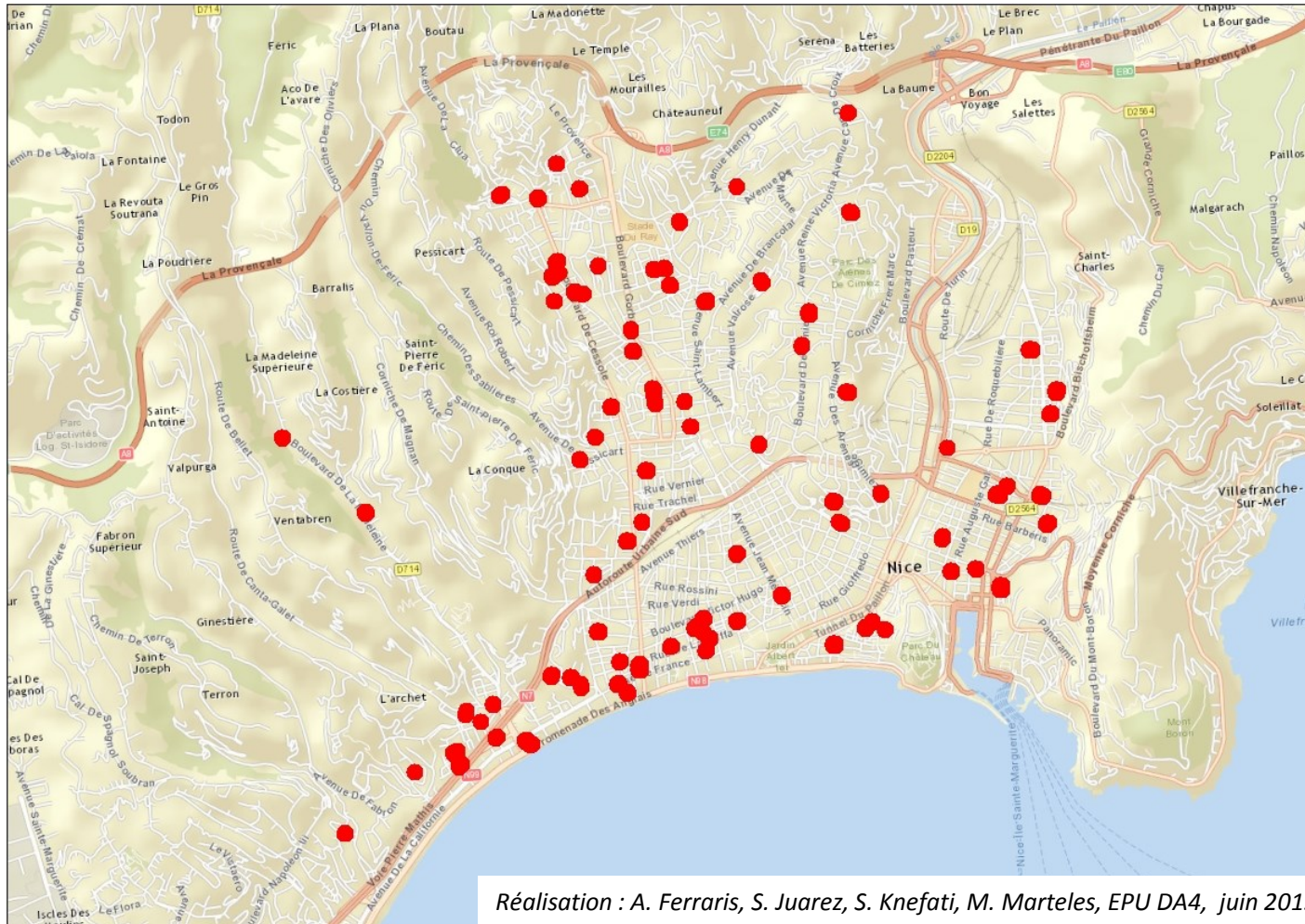
**Position dans l'agrégat**



**Hauteur relative**

Réalisation : A. Ferraris, S. Juarez, S. Knefati, M. Marteles, EPU DA4, juin 2015

# Échantillonnage



État de l'art

Méthode

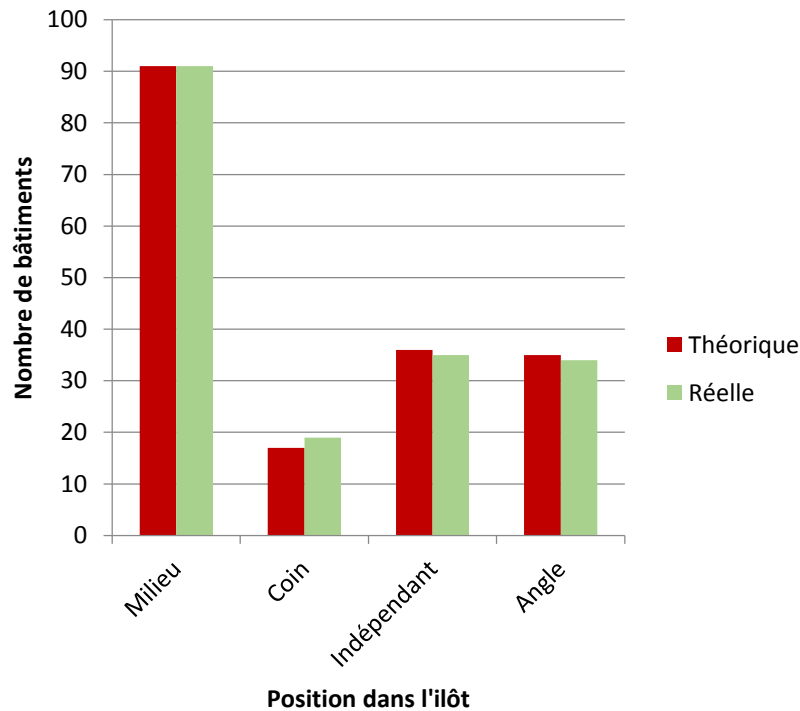
Traitement

Résultats

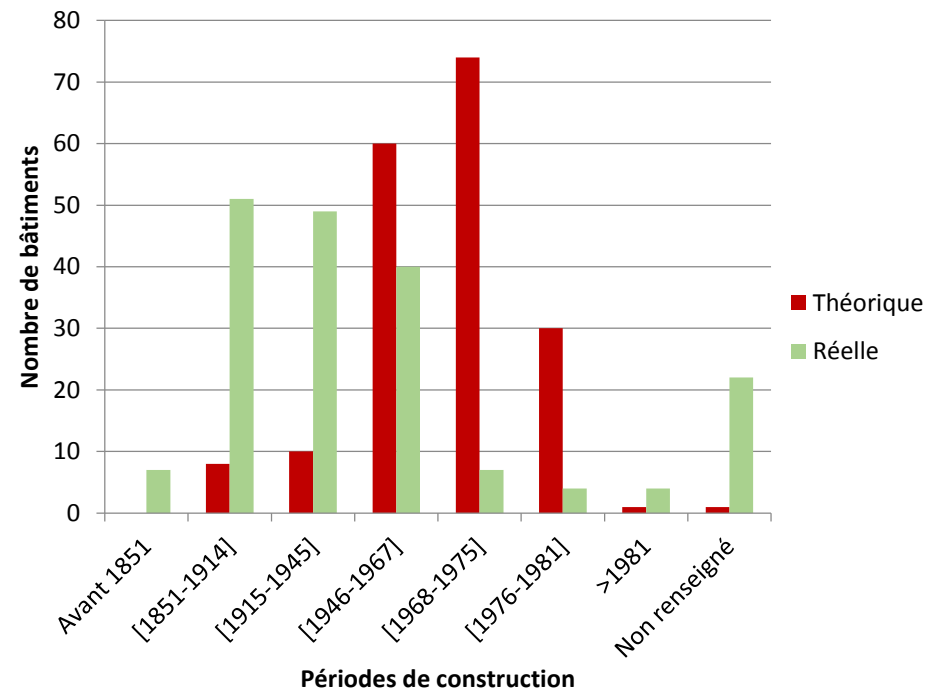
Généralisation

# Vérification des critères (178 bâtiments)

Comparaison des positions dans l'îlot réelles et théoriques



Comparaison des dates de construction théoriques et réelles



Réalisation : A. Ferraris, S. Suarez, S. Knefati, M. Marteles, EPU DA4, juin 2015

État de l'art

Méthode

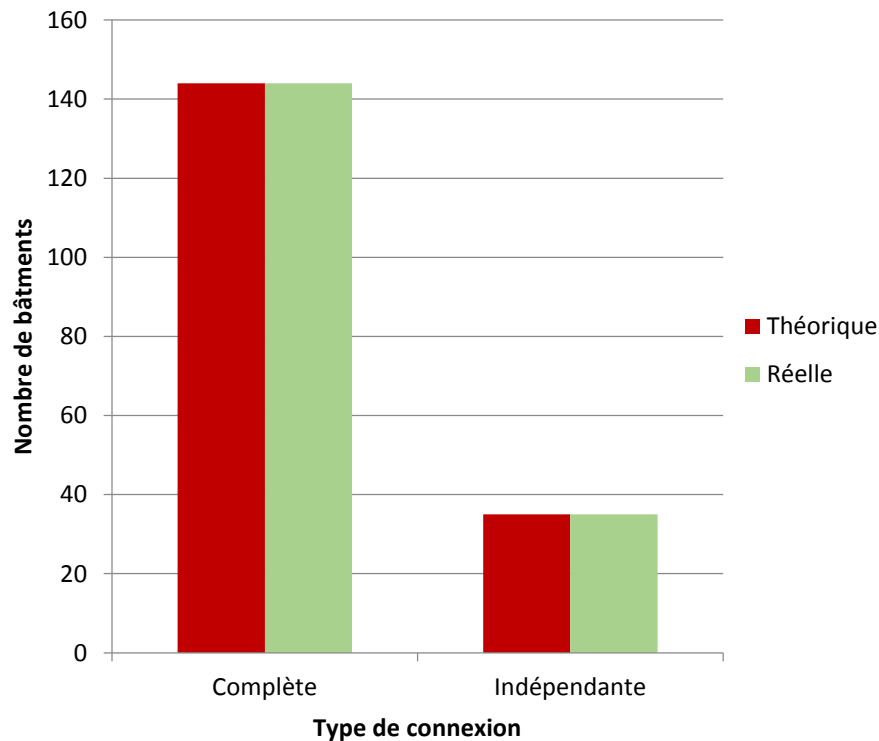
Traitement

Résultats

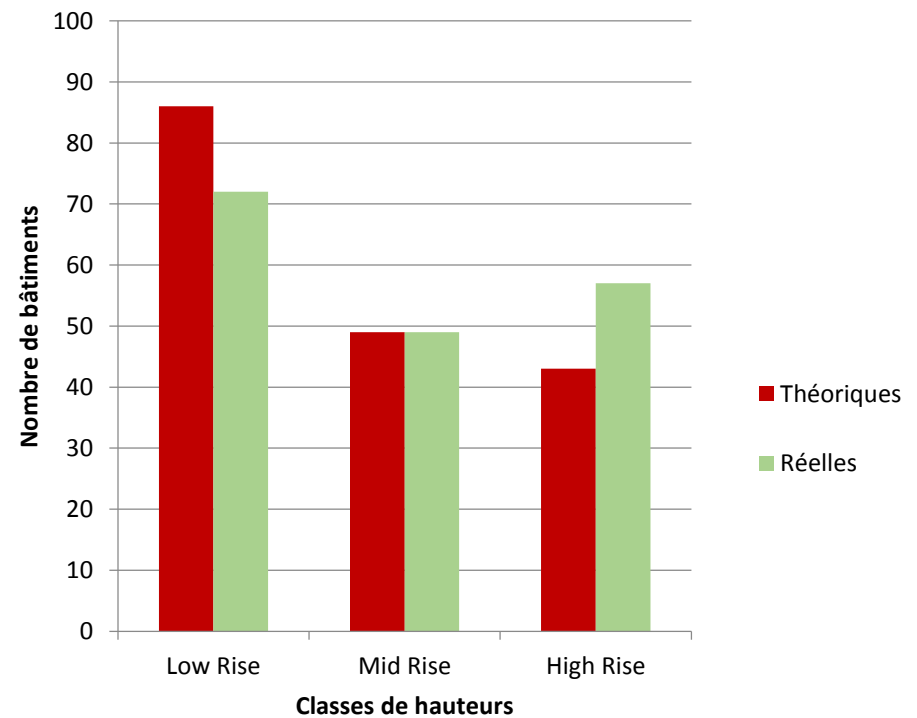
Généralisation

# Vérification des critères

Comparaison des connexions réelles et théoriques

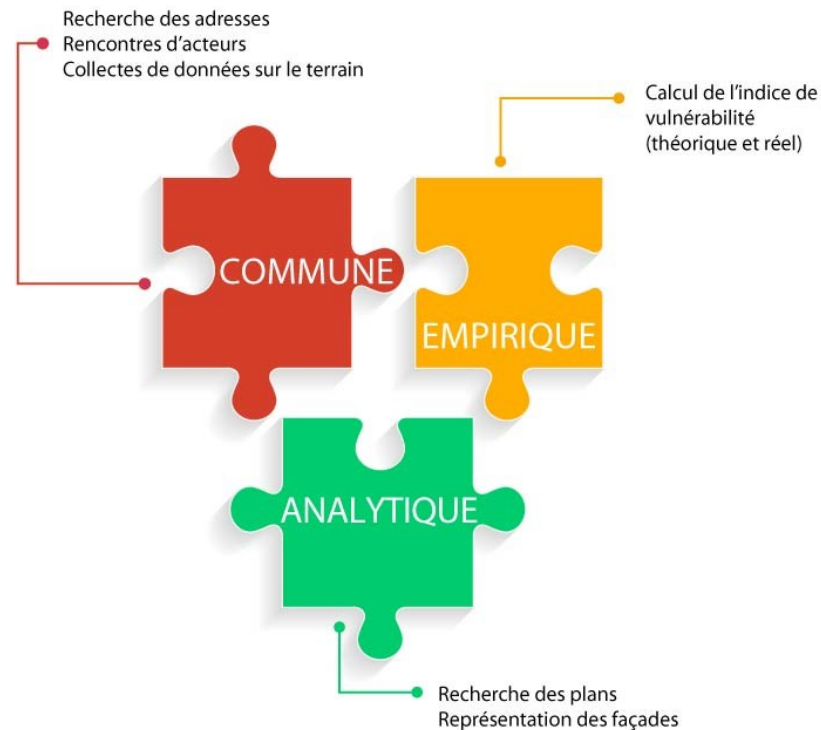


Comparaison des hauteurs théoriques et réelles



Réalisation : A. Ferraris, S. Suarez, S. Knefati, M. Marteles, EPU DA4, juin 2015

# Deux approches



Réalisation : A. Ferraris, S. Juarez, S. Knefati, M. Marteles, EPU DA4, juin 2015

État de l'art

Méthode

Traitement

Résultats

Généralisation

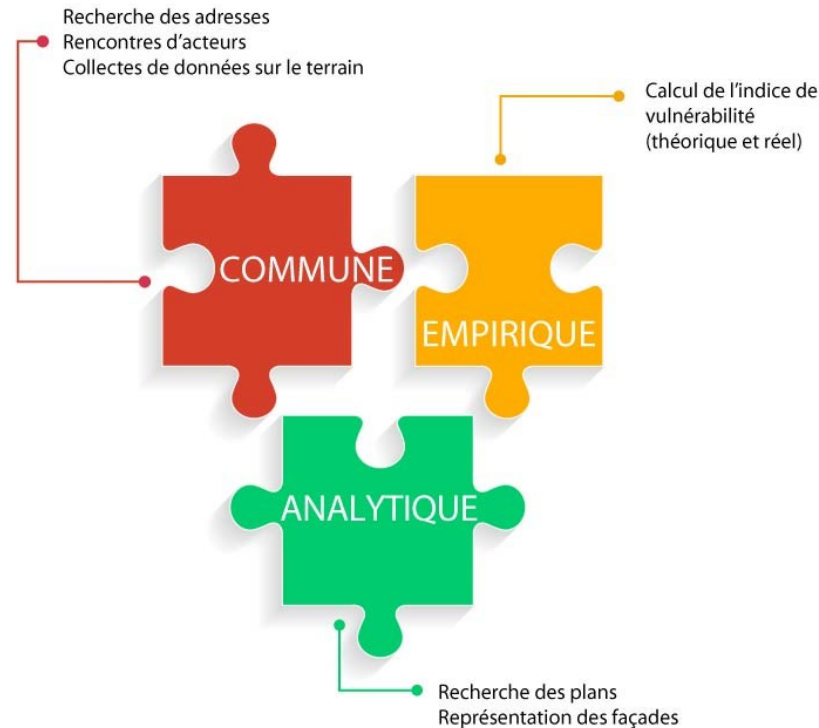
# Sommaire

## Contextualisation

- I. État de l'art
- II. Méthode mise en place
- III. Traitement de l'échantillon**
- IV. Résultats obtenus
- V. Généralisation

## Conclusion

# Recherche des adresses



Réalisation : A. Ferraris, S. Juarez, S. Knefati, M. Marteles, EPU DA4, juin 2015

État de l'art

Méthode

Traitement

Résultats

Généralisation



# Collecte des données sur le terrain



**Adresse : 2 rue Mascoinat**

 : oui ☐ non ☒

 : oui ☐ non ☒



Critères	Données théoriques	Relevé terrain
Période de construction	1968 - 1975 (An : 1973)	XVII à XVIII <sup>ème</sup> <sup>1</sup>
Hauteur de construction	Mid-rise (18m)	Low-rise (12m)
Connexion inter-bâtiments	Complète	Complète
Position du bâtiment au sein de l'ilot	Angle	Angle
Hauteur relative	Nulle	Nulle



1 Estimation M. Steve

ID OSM : 137356646

Réalisation : A. Ferraris, S. Suarez, S. Knefati, M. Marteles, EPU DA4, juin 2015

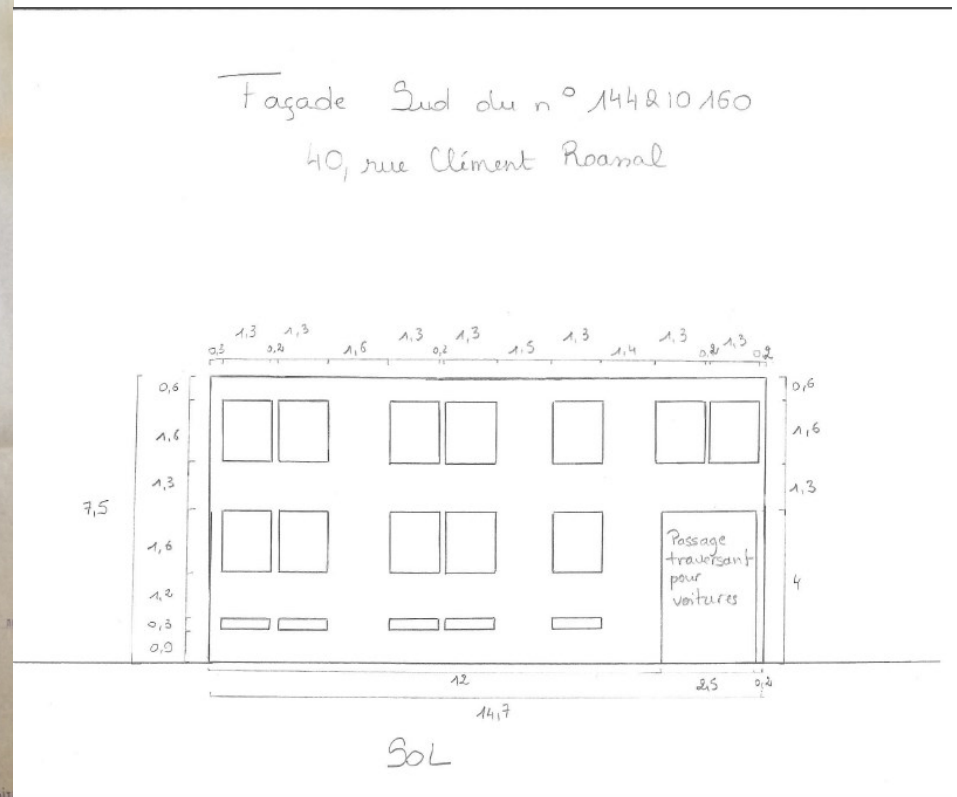
État de l'art

Méthode

Traitement

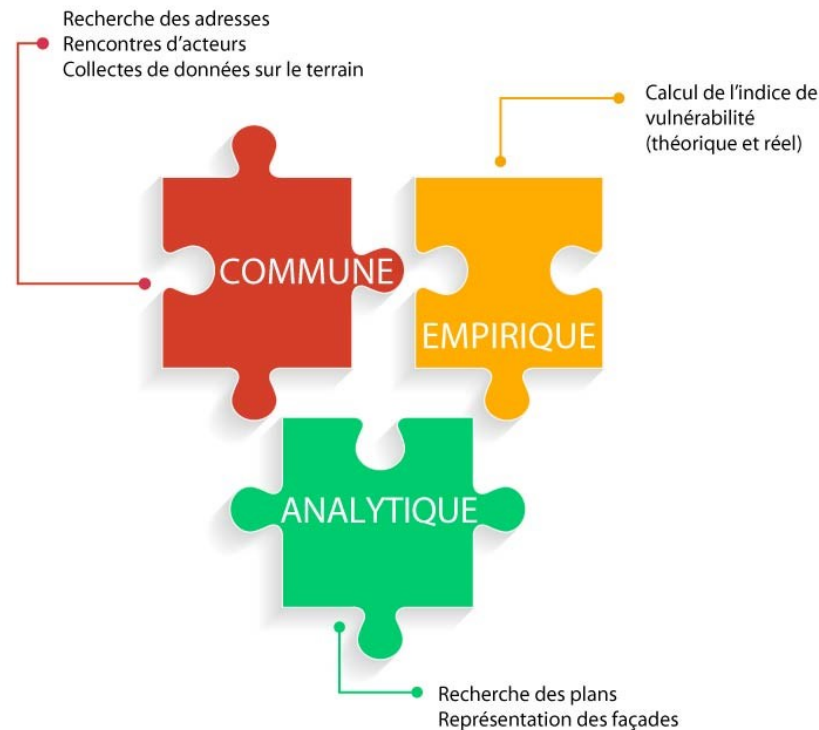
Résultats

Généralisation



## Généralisation

# Calcul de l'indice de vulnérabilité



Réalisation : A. Ferraris, S. Juarez, S. Knefati, M. Marteles, EPU DA4, juin 2015

État de l'art

Méthode

Traitement

Résultats

Généralisation

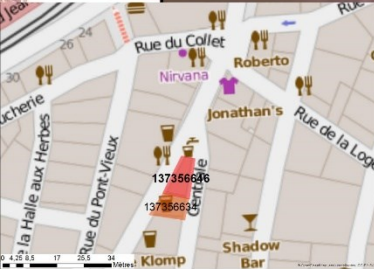
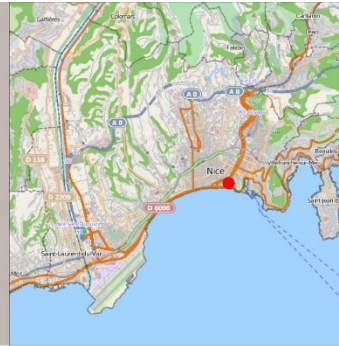
# Exemple suivi : 2, rue Mascoinat



Adresse : 2 rue Mascoinat

 : oui ☐ non ☒

 : oui ☐ non ☒



Critères	Données théoriques	Relevé terrain
Période de construction	1968 - 1975 (An : 1973)	XVII à XVIII <sup>ème</sup> <sup>1</sup>
Hauteur de construction	Mid-rise (18m)	Low-rise (12m)
Connexion inter-bâtiments	Complète	Complète
Position du bâtiment au sein de l'ilot	Angle	Angle
Hauteur relative	Nulle	Nulle

ID OSM : 137356646



<sup>1</sup> Estimation M. Steve

Réalisation et photo : A. Ferraris, S. Juarez, S. Knefati, M. Marteles, EPU DA4, juin 2015

État de l'art

Méthode

Traitement

Résultats

Généralisation

# Calcul de l'indice de vulnérabilité

## Indice théorique

### Étape 1 : typologie

Bâtiment de 1976  
(théorique)

Structure mixte (APUR)

$$V_i^* = 0,386$$

Nom	Typologie	$V_i^*$	Nom	Typologie	$V_i^*$
M1.1	Moellons	0.807	RC3.1	Mur de remplissage maçonnerie, structure régulière	0.462
M1.2	Pierres appareillées		RC3.2	Structure irrégulière	
M1.3	Pierre de taille	0.616	RC4	Structure mixte en BA (portiques et murs)	0.386
M3.1	Planchers bois	0.722	RC5	Murs en béton préfabriqué	0.384
M3.3	Planchers avec poutrelles métalliques et maçonnerie		S1	Poteaux/poutres acier	0.363
M3.2	Voûtes en maçonnerie	0.776	S2	Structure en acier contreventé	0.287
M4	Murs porteurs en maçonnerie armée ou confinée	0.45	S3	Poteaux/poutres acier + remplissage maçonnerie non armée	0.484
RC1	Poteaux/poutres béton	0.442	W	Structure en bois	0.447
RC2	Murs de refend béton	0.386			

Source : BRGM, rapport Risk-UE RP-53202-FR, septembre 2004



# Calcul de l'indice de vulnérabilité

## Indice théorique

### Étape 2 : facteurs aggravants

- $V_{m1} = 0$  ( $h_{\text{théorique}} = 18\text{m}$ )
- $V_{m2} = 0$  (visualisation ArcGis)
- $V_{m3} = 0$  (APUR)
- $V_{m4} = 0,02$  (APUR)
- $V_{m5} = \text{NR}$
- $V_{m6} = 0,04$
- $V_{m7} = \text{NR}$
- $V_{m8} = 0,16$  (date<sub>th</sub> avant 1982)

$$\rightarrow \Delta V_m = 0,22$$

$$V_l = V_l^* + \Delta V_m = 0,386 + 0,22$$

$$V_{l \text{ théorique}} = 0,606$$

	IMMEUBLE RÉSIDENTIEL DES ANNÉES 1970 ET 1980	IMMEUBLE RÉSIDENTIEL DES ANNÉES 1990
HAUTEUR	R + 6 à R + 10	R + 4 à R + 8
FAÇADE	Revêtement soit en enduit monocouche soit en matériaux de parement (pierre, brique, céramique) Compositions singulières pour chaque bâtiment Traitement indifférencié des façades sur rue et sur cour	Grande variété de revêtements de façade (enduits, petits éléments de maçonneries...) Compositions singulières pour chaque bâtiment Proportion d'ouvertures sur la façade sur rue : ... % environ
STRUCTURE	Ossature porteuse (années 1930)	Ossature porteuse Mur porteur
ENVELOPPE	Béton armé banché en ossature et en remplissage	Béton armé banché en ossature et en remplissage
OUVERTURES	Menuiseries en PVC ou en bois Double-vitrage	Menuiseries en PVC Double-vitrage
VENTILATION	Ventilation mécanique contrôlée (VMC simple flux) Ventilation hygroréglable (à partir de 1983)	Ventilation mécanique contrôlée (VMC simple flux) Ventilation hygroréglable
TOITURES	Toiture-terrasse en béton armée ou toit à double-pente	Toiture-terrasse en béton armée ou toit à double-pente
DISPOSITION INTÉRIEURE	Appartements traversants ou mono-orientés, selon la configuration de la parcelle	Appartements traversants

Source : APUR, analyse de la performance thermique des logements parisiens construits entre 1975 et 2000, mars 2011

Facteurs aggravants pour les bâtiments RC et acier	Facteurs de vulnérabilité		Code Bas	Code Moyen
Nb d'étages		Bas (1, 2 ou 3)	-0,04	-0,04
		Moyen (4, 5 ou 6)	0	0
		Haut (7 ou plus)	+0,08	+0,06
		Oui	+0,02	+0,01
Irrégularité en plan	Forme (L, C)	Non	0	0
		Oui	+0,02	+0,01
		Non	0	0
		Oui	+0,02	+0,01
Irrégularité élévation	Protubérance	Oui	+0,02	+0,01
		Non	0	0
	Saillie	Oui	+0,02	+0,01
		Non	0	0
	Retrait	Oui	+0,02	+0,01
		Non	0	0
	Joints insuffisants (non PS)	Oui	+0,04	0
		Non	0	0
Règles PS	Poteaux courts	Oui	+0,02	+0,01
		Non	0	0
	Avant 1982 : L	Après 1982 : M	+0,16	0

Source : BRGM, rapport Risk-UE RP-53202-FR, septembre 2004

# Calcul de l'indice de vulnérabilité

Indice réel

Étape 1 : typologie

Bâtiment du XVII<sup>ème</sup> siècle  
(réel)

Structure en moellon

$$V_i^* = 0,807$$

Nom	Typologie	$V_i^*$	Nom	Typologie	$V_i^*$
<b>M1.1</b>	Moellons	0.807	<b>RC3.1</b>	Mur de remplissage maçonnerie, structure régulière	0.462
<b>M1.2</b>	Pierres appareillées		<b>RC3.2</b>	Structure irrégulière	
<b>M1.3</b>	Pierre de taille	0.616	<b>RC4</b>	Structure mixte en BA (portiques et murs)	0.386
<b>M3.1</b>	Planchers bois	0.722	<b>RC5</b>	Murs en béton préfabriqué	0.384
<b>M3.3</b>	Planchers avec poutrelles métalliques et maçonnerie		<b>S1</b>	Poteaux/poutres acier	0.363
<b>M3.2</b>	Voûtes en maçonnerie	0.776	<b>S2</b>	Structure en acier contreventé	0.287
<b>M4</b>	Murs porteurs en maçonnerie armée ou confinée	0.45	<b>S3</b>	Poteaux/poutres acier + remplissage maçonnerie non armée	0.484
<b>RC1</b>	Poteaux/poutres béton	0.442	<b>W</b>	Structure en bois	0.447
<b>RC2</b>	Murs de refend béton	0.386			

Source : BRGM, rapport Risk-UE RP-53202-FR, septembre 2004

CATÉGORIE	MAÇONNERIE	BÉTON	ACIER
<b>PERIODES DE CONSTRUCTION LES PLUS PROBABLES</b>	Avant 1949 pour les bâtiments collectifs et jusqu'au milieu du XX <sup>ème</sup> siècle pour les maisons individuelles	A partir de 1920, généralisation pour tout les bâtiments collectifs	-
<b>TYPE DE LOGEMENTS CONCERNÉ</b>	logements collectifs bon marché, maisons bourgeoises ou encore des maisons ouvrières	Essentiellement des immeubles collectifs	-
<b>SIGNES DISTINCTIFS</b>	Éléments maçonnés sur la façade, toits à deux pans ou présence de auvent	Balcons filants, ouverture irrégulière d'un étage un autre	-

Tableau synthèse des grandes catégories de constructions

Réalisation : Ferraris-Juarez-Knefati-Marteles

État de l'art

Méthode

Traitement

Résultats

Généralisation

# Calcul de l'indice de vulnérabilité

## Indice réel

### Étape 2 : facteurs aggravants

- $V_{m1} = -0,04$
  - $V_{m2} = 0$
  - $V_{m3} = 0$
  - $V_{m4} = 0$
  - $V_{m5} = 0$
  - $V_{m6} = 0$
  - $V_{m7} = 0,06$
  - $V_{m8} = 0,02$
  - $V_{m9} = 0,04$
  - $V_{m10} = 0,04$
  - $V_{m11} = 0,04$
  - $V_{m12} = 0$
  - $V_{m13} = 0,04$
- $\Delta V_m = 0,20$

$$V_I = V_I^* + \Delta V_m = 0,807 + 0,20$$

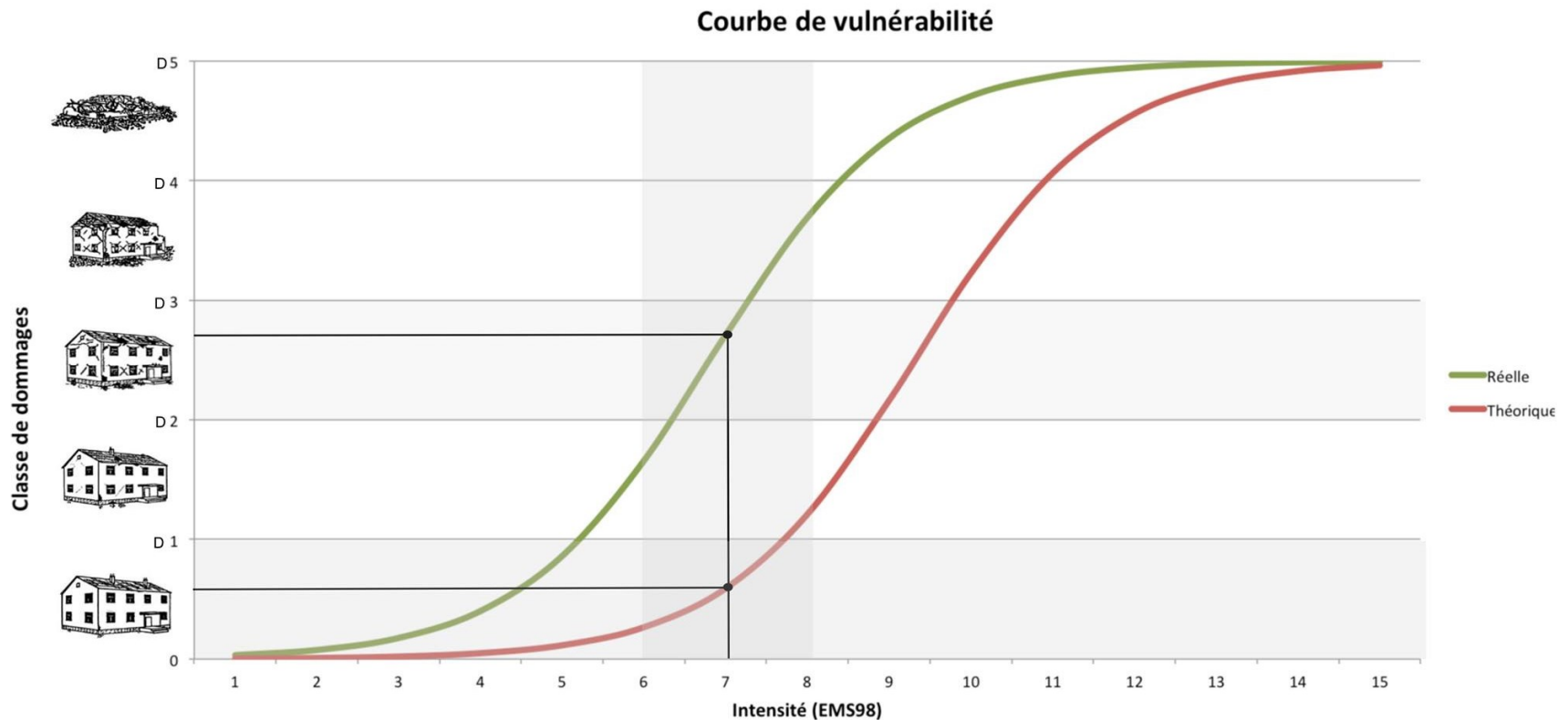
$$V_{I \text{ réel}} = 1,007$$

Facteurs aggravants pour les bâtiments en maçonnerie	Facteurs de vulnérabilité	
	Etat d'entretien	B = bon
		-0,04
	Nb d'étages	M = mauvais
		+0,04
Irrégularité en plan	Bas (1 ou 2)	-0,04
		0
	Moyen (3, 4 ou 5)	0
		+0,04
Irrégularité élévation	Haut (6 ou plus)	+0,04
		0
	Forme (L, C)	Oui
		+0,02
Interaction entre bâtiment	Protubérances	Non
		0
	Saillie	Oui
		+0,02
	Retrait	Non
		0
	Position dans l'îlot	Oui
		+0,01
	Différence de hauteur/voisin	Non
		0
	Irrégularité en toiture	Oui
		+0,01
	Décalage de plancher	Non
		0
	Transparence - démolition	Oui
		+0,04
	Balcons - cheminées	Oui
		+0,04
	Etages: haut. différente	Oui
		+0,01
		Non
		0
		Oui
		+0,04

Source : BRGM, rapport Risk-UE RP-53202-FR, septembre 2004



# Courbes de vulnérabilité



$$\mu_D = 2.5 \left[ 1 + \tanh \left( \frac{I + 6.25 V_I - 13.1}{2.3} \right) \right]$$

Réalisation : A. Ferraris, S. Suarez, S. Knefati, M. Marteles, EPU DA4, juin 2015

État de l'art

Méthode

Traitement

Résultats

Généralisation

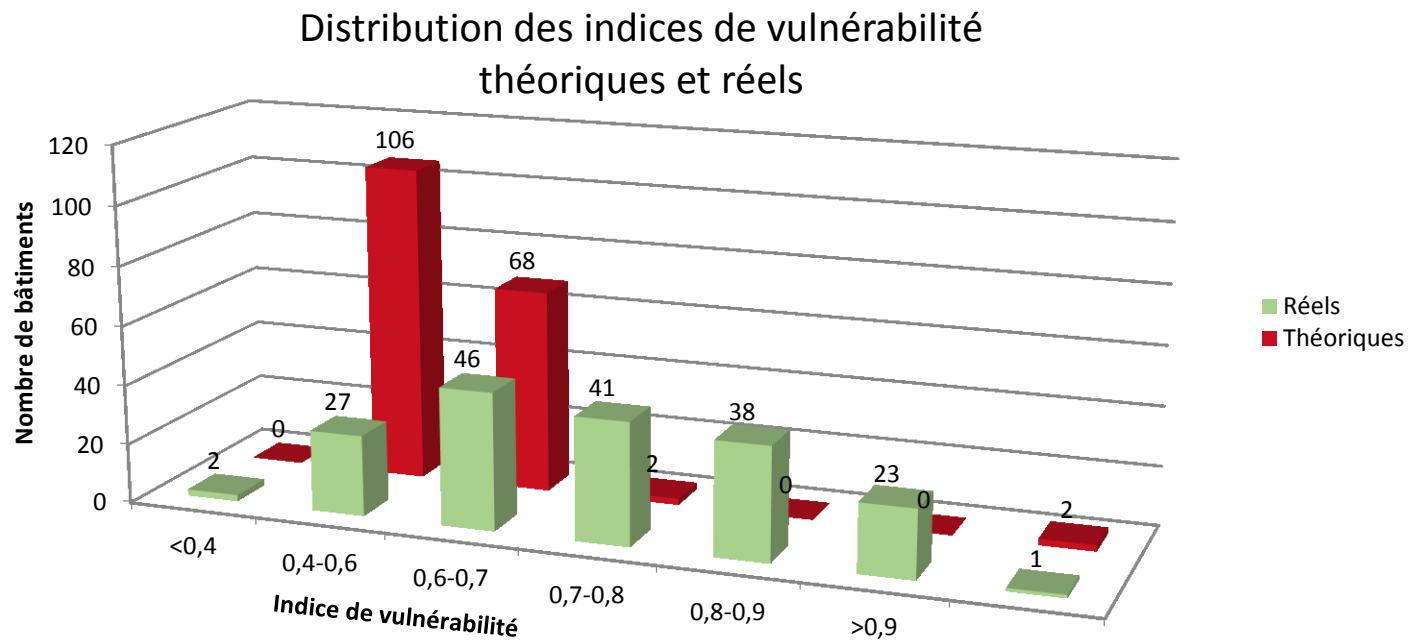
# Sommaire

## Contextualisation

- I. État de l'art
- II. Méthode mise en place
- III. Traitement de l'échantillon
- IV. Résultats obtenus**
- V. Généralisation

## Conclusion

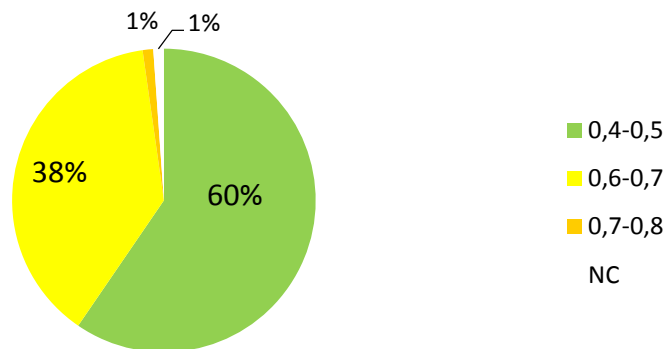
# Indices de vulnérabilité



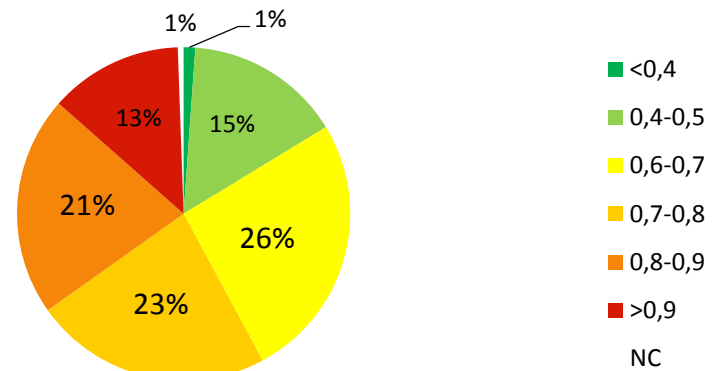
Réalisation : A. Ferraris, S. Juarez, S. Knefati, M. Marteles, EPU DA4, juin 2015

# Indices de vulnérabilité

Répartition des indices de vulnérabilité théoriques



Répartition des indices de vulnérabilité réels



Réalisation : A. Ferraris, S. Juarez, S. Knefati, M. Marteles, EPU DA4, juin 2015

État de l'art

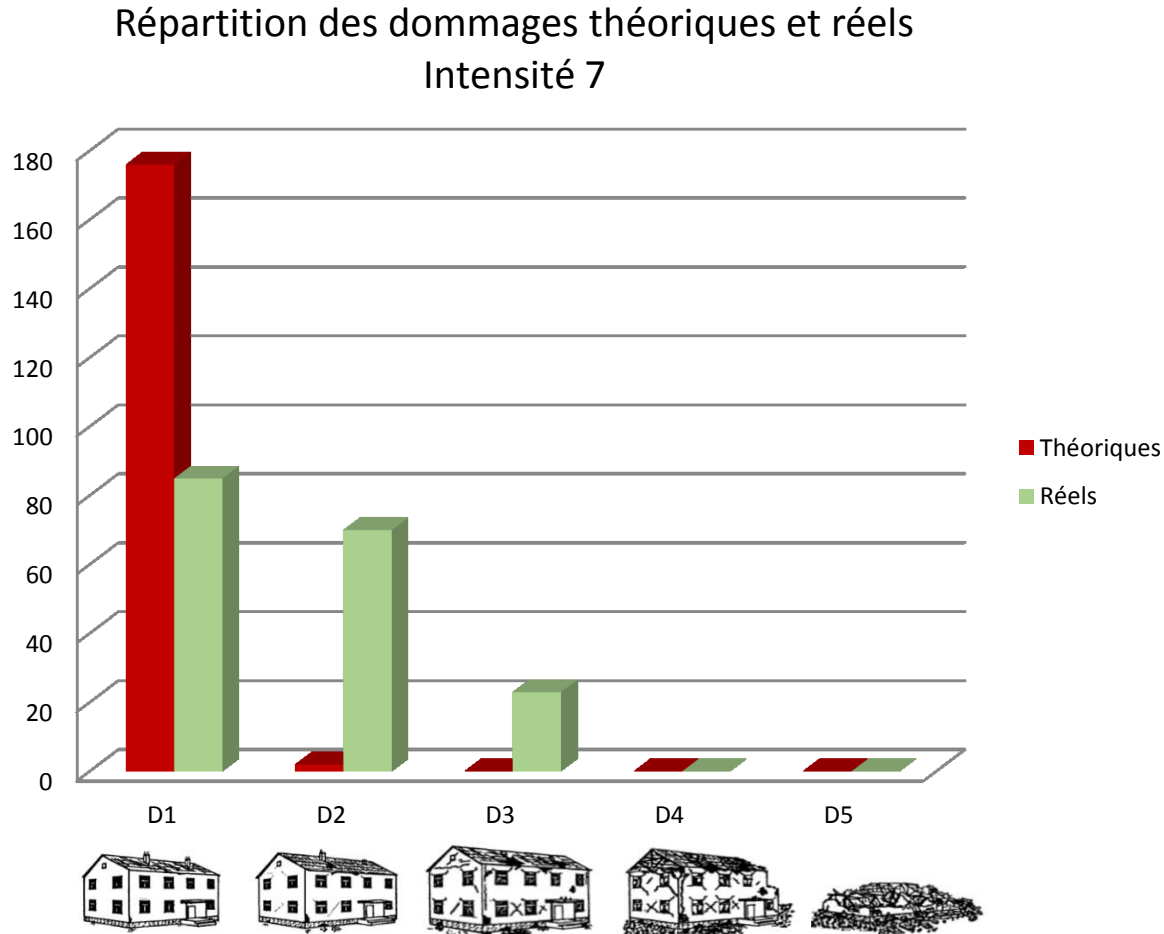
Méthode

Traitement

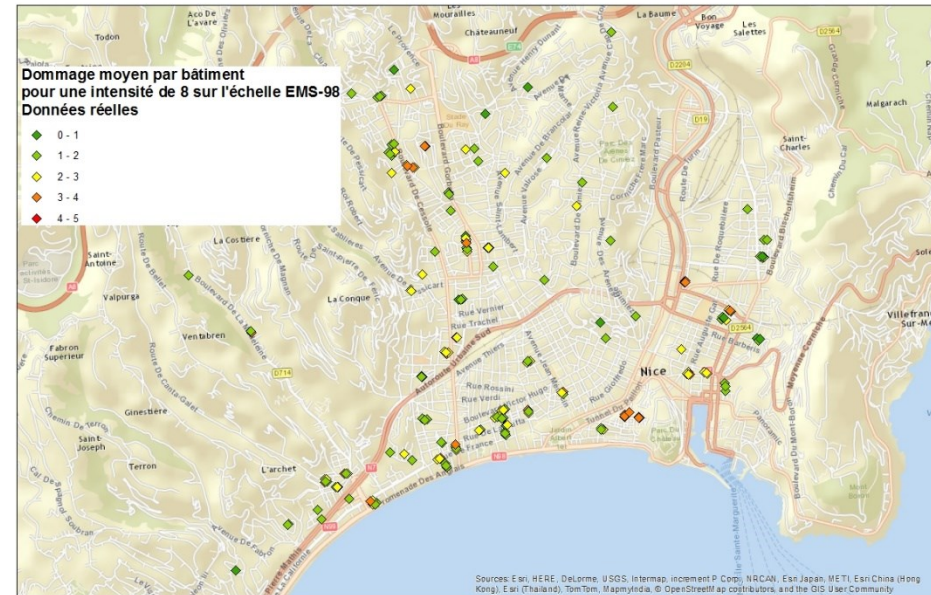
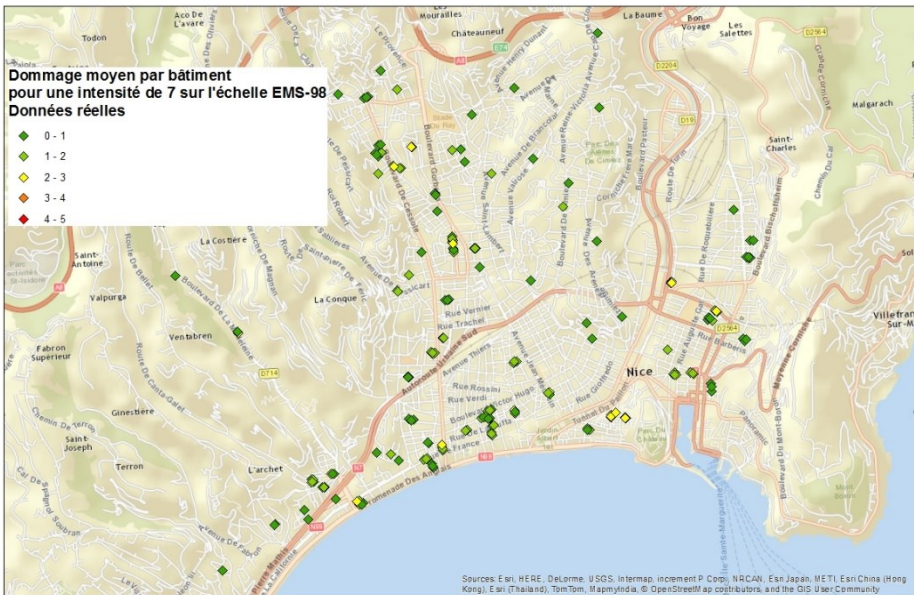
Résultats

Généralisation

# Comparaison de dommages : données théoriques et réelles



# Comparaison de dommages : données théoriques et réelles



Réalisation : A. Ferraris, S. Juarez, S. Knefati, M. Marteles, EPU DA4, juin 2015

État de l'art

Méthode

Traitement

Résultats

Généralisation



# Comparaison de dommages : données théoriques et réelles



Réalisation : A. Ferraris, S. Juarez, S. Knefati, M. Marteles, EPU DA4, juin 2015

État de l'art

Méthode

Traitement

Résultats

Généralisation

# Sommaire

## Contextualisation

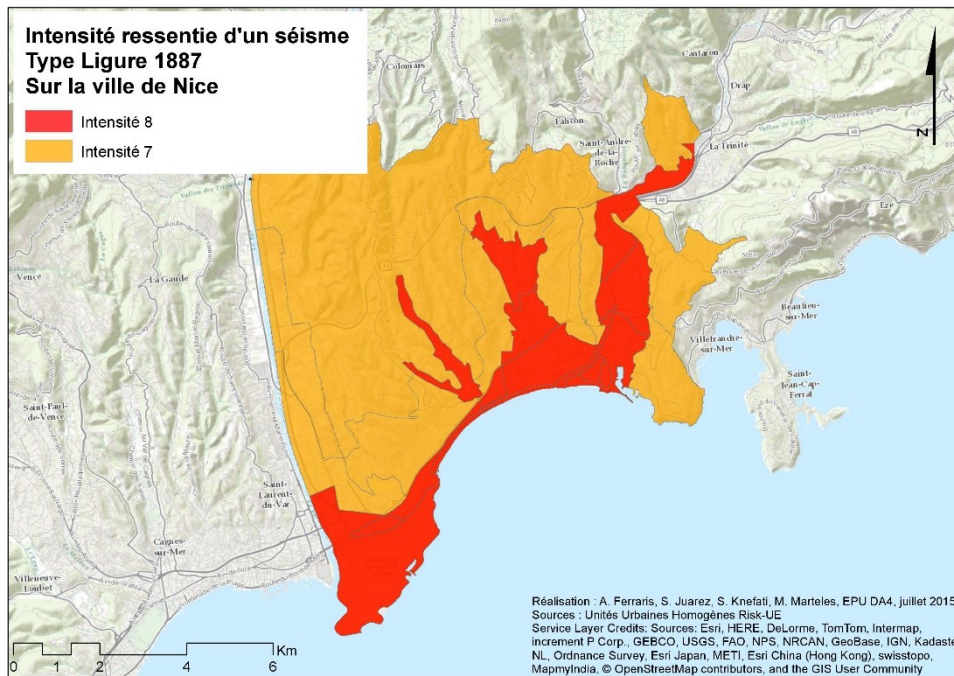
- I. État de l'art
- II. Méthode mise en place
- III. Traitement de l'échantillon
- IV. Résultats obtenus
- V. Généralisation**

## Conclusion

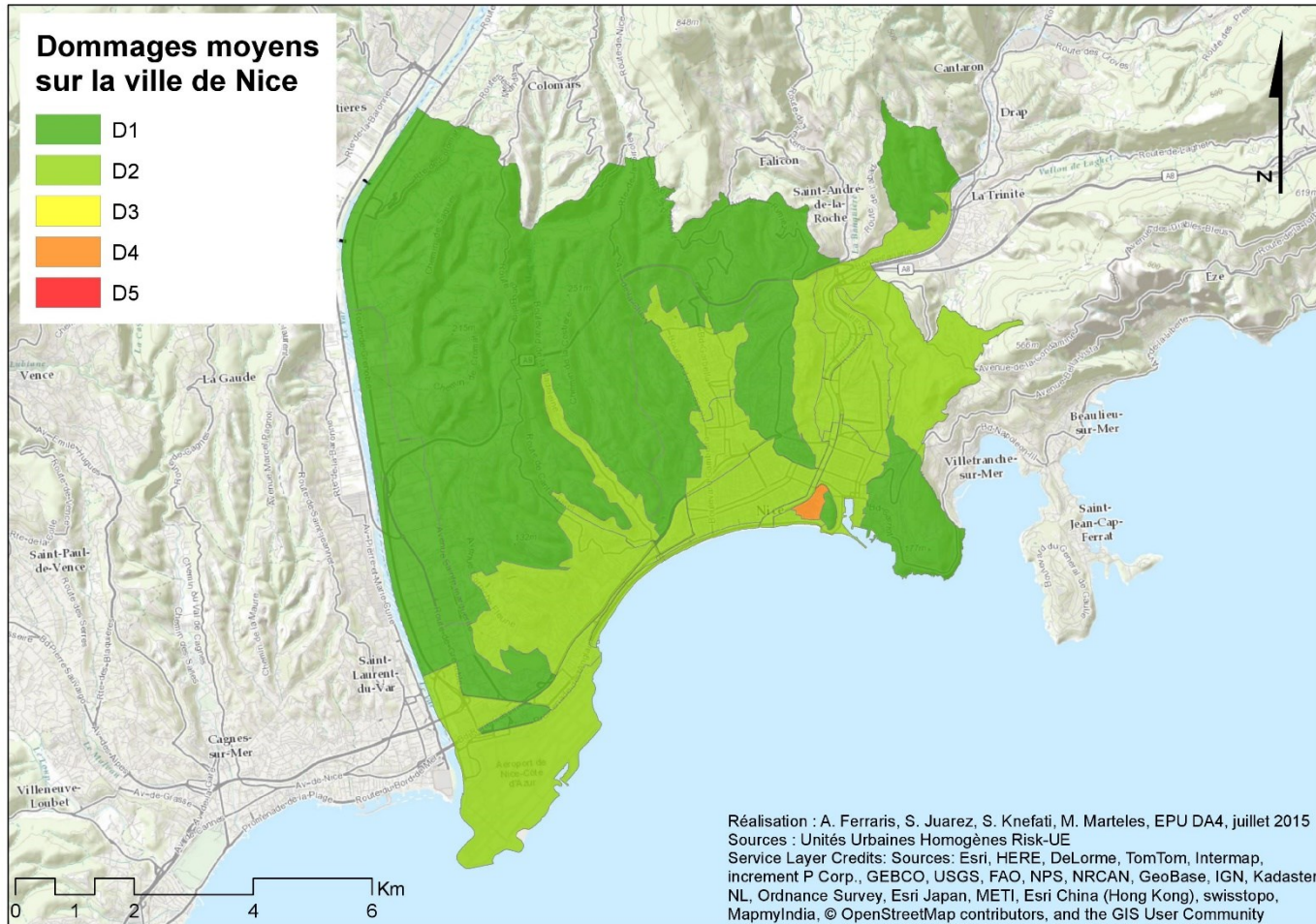


# Calcul

## Exemple d'un secteur



# Résultats : Carte



# Calcul du nombre de sans-abris

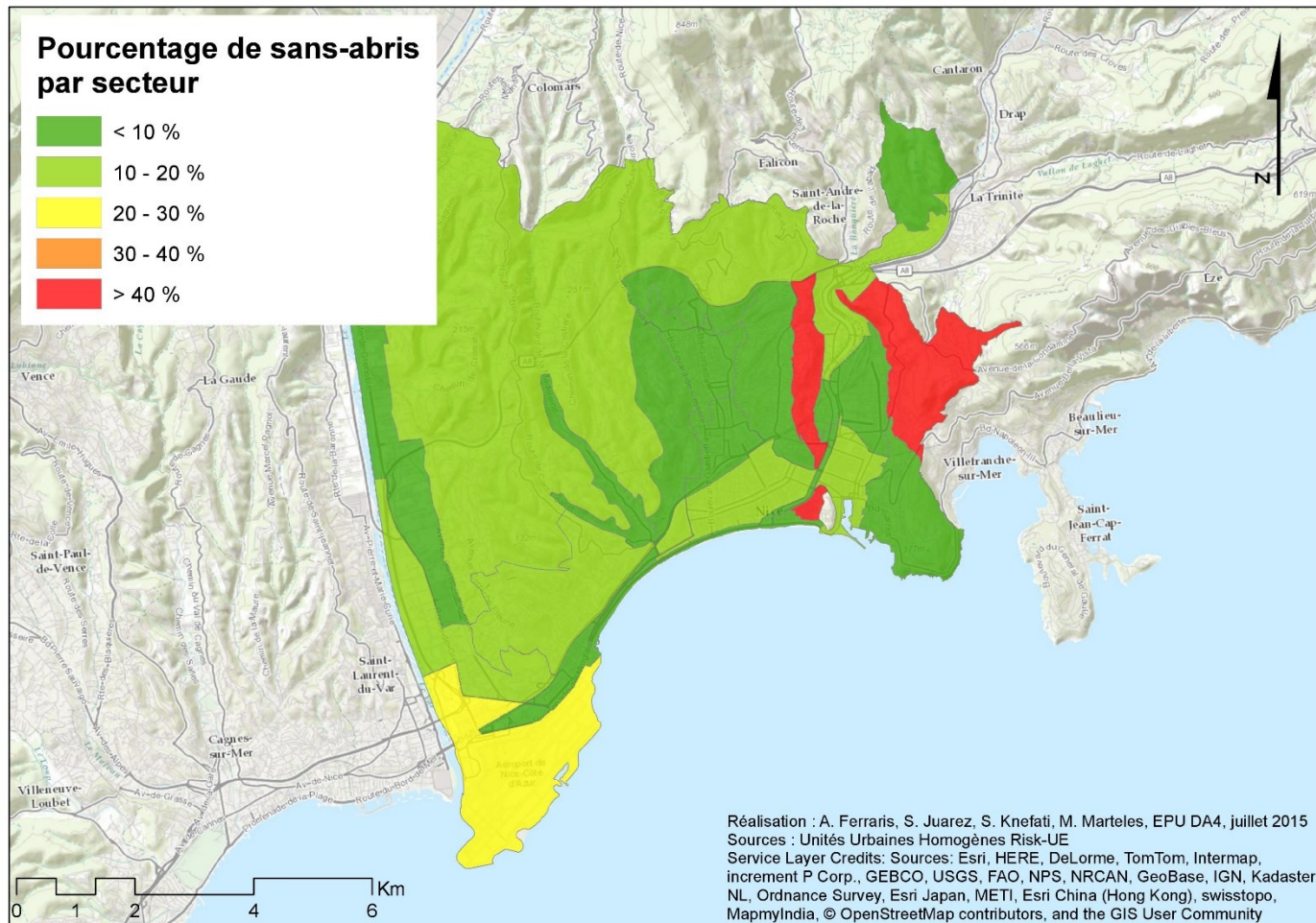
- Nombre de sans-abris =  $((\%D3 + \%D4 + \%D5)/100) * \text{population}$

Quartier	Population du quartier	Pourcentage bâtiment en D3	Pourcentage bâtiment en D4	Pourcentage bâtiment en D5	Population sans-abris
Madeleine (Q24)	10 736	20,93	12,86	3,34	3986
St-Marguerite (Q56)	2954	6,53	2,83	0,56	293

*Ex : Nombre de sans-abris Madeleine =  $(30,93 + 12,86 + 3,34) / 100 \times 10\,736 = 3986$ .*



# Résultats : Carte



# Conclusion

- Enjeux de la ville de Nice (densité, tourisme...)
- Différence entre les bases de données et la réalité
- Limites : véracité des bases de données

MERCI DE VOTRE ATTENTION

---