



LMIER

Laboratoire des Matériaux Innovants et
Energies Renouvelables

INTITULÉ DE LA PRÉSENTATION

« Effets de site et classification des sols :
Vers une meilleure estimation de l'action
sismique dans le règlement algérien »

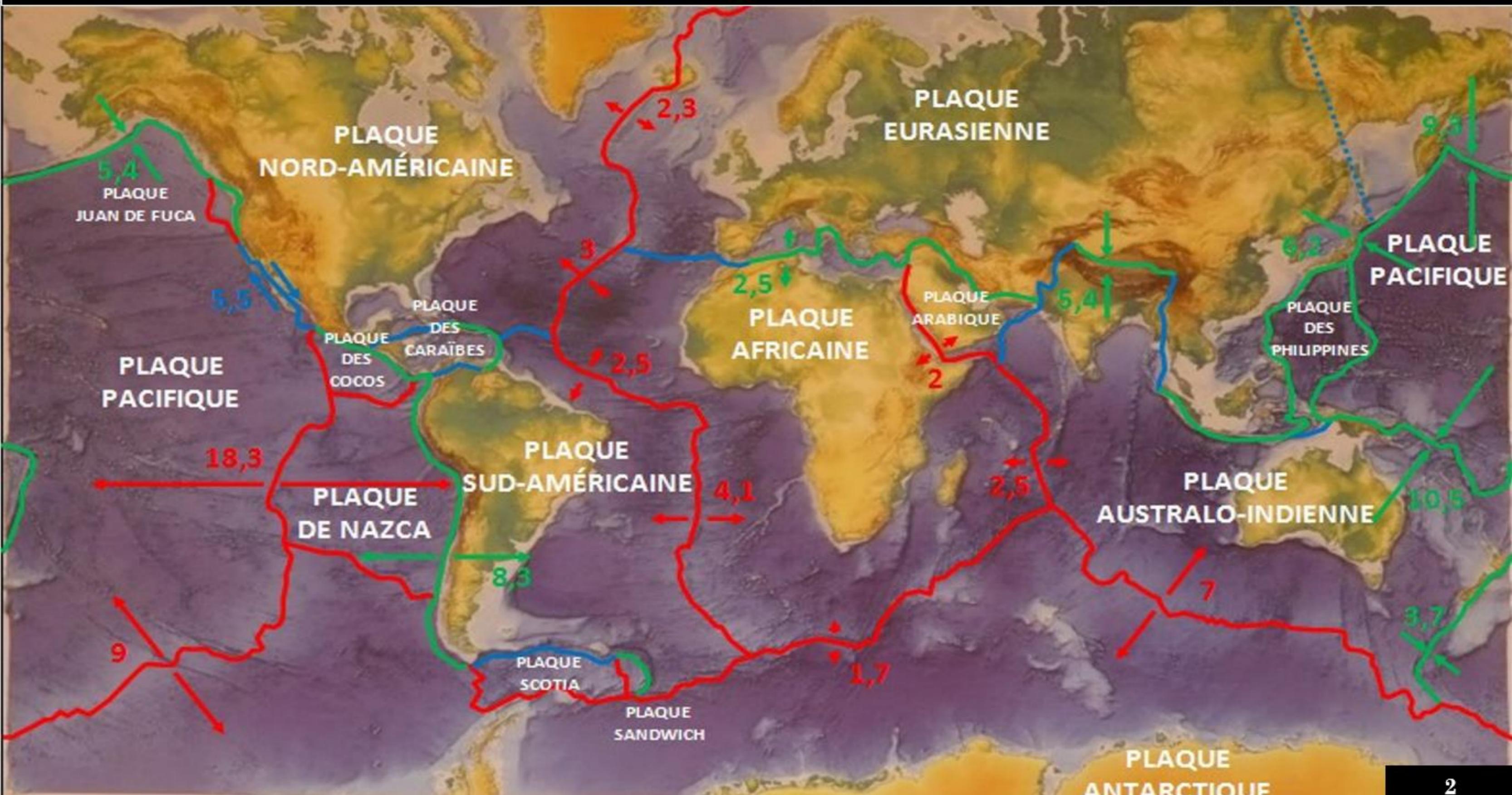


Dr. Raouf BENCHARIF

Chercheur permanent, Centre national de recherche appliquée en
génie parasismique, CGS

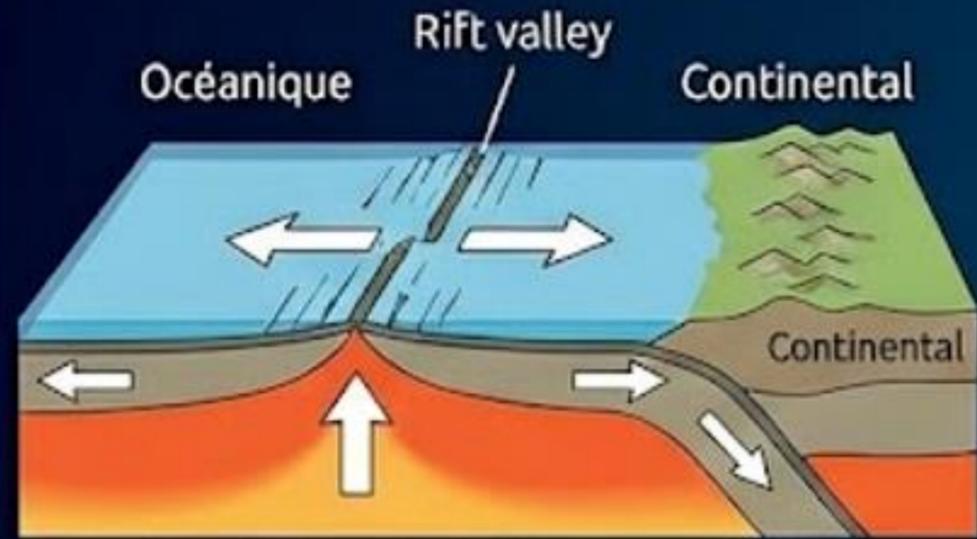


Principaux mouvements des plaques lithosphériques



DIFFÉRENTES LIMITES DE PLAQUES

MARGES DIVERGENTES



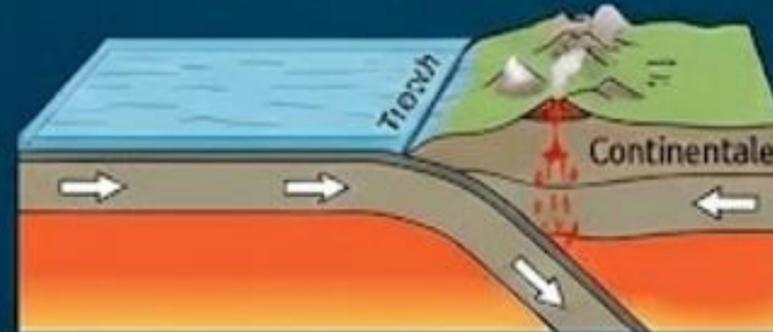
Tremblements de Terre superficiels

MARGES CONVERGENTES



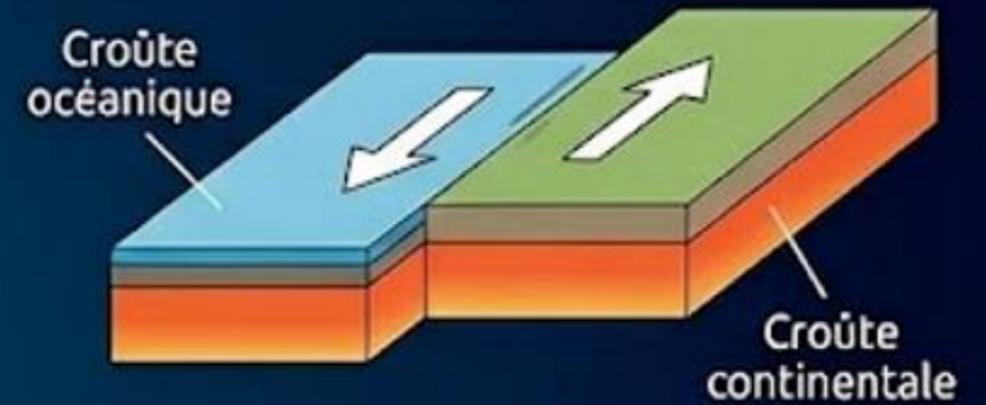
Tremblements de Terre profonds et peu profonds

Zone de Subduction



Tremblements de Terre profonds et peu profonds

FAILLE TRANSFORMANTE



EL ASNAM 1980 (Ref. Ritz ESC 2010)



L'IMPACT DE LA FAILLE INVERSE : LE SÉISME D'EL ASNAM, 1980

Déformations Majeures des Infrastructures
(Meghraoui, 1988)



Compression
du sol



Mouvement
vertical

Ruptures de Surface et Déplacement de Terrain
(Ref. Z. Boutaraa, 2019)

Faille inverse



Glissement
de terrain



Une Histoire Écrite par les Séismes : Les Leçons du Passé

Plusieurs séismes majeurs ont servi de catalyseurs à la prise de conscience et à l'évolution de la réglementation parasismique.

Alger, 1716

Magnitude ~7.0

Un événement historique majeur, causant la destruction de 85% de la Casbah et un tsunami significatif.



Orléansville (Chlef), 1954

Magnitude 6.7

Plus de 1 243 morts et 5 000 blessés, soulignant la vulnérabilité des constructions de l'époque.



El Asnam (Chlef), 1980

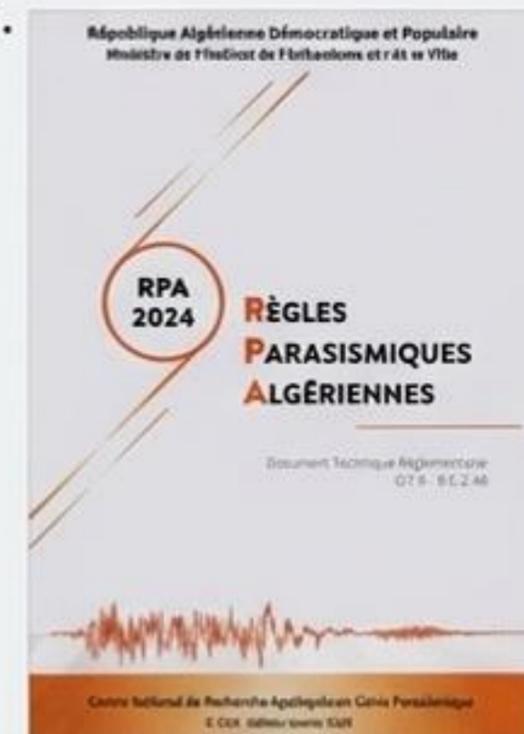
Magnitude 7.2

Le tournant décisif. Un drame national avec près de 3 000 morts et plus de 3 milliards USD de dégâts, qui a directement conduit à la création du premier règlement parasismique moderne algérien, le RPA 81.



De RPA 81 à RPA 2024 : Chronologie d'une Amélioration Continue

La réglementation parasismique algérienne a évolué par itérations successives, intégrant progressivement les avancées scientifiques et les retours d'expérience.



RPA 2024 : Un Nouveau Standard pour une Sécurité Accrue

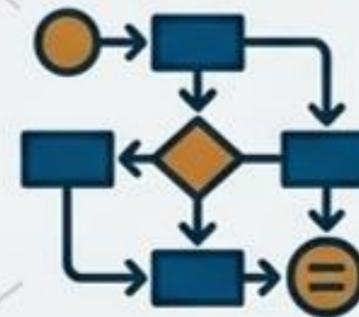
Après plus de 20 ans, le RPA 2024 remplace le RPA 2003. Cette révision majeure modernise le cadre normatif algérien en introduisant des avancées significatives sur plusieurs axes fondamentaux :



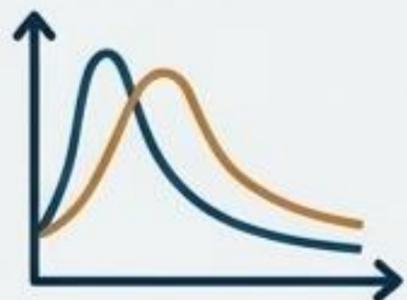
- 1 Zonage Sismique**
Une cartographie de l'aléa plus fine et plus précise.



- 2 Classification des Sites**
Une meilleure prise en compte des effets de site, y compris topographiques.



- 5 Méthodes d'Analyse**
Introduction de nouvelles approches, comme l'analyse statique non linéaire.

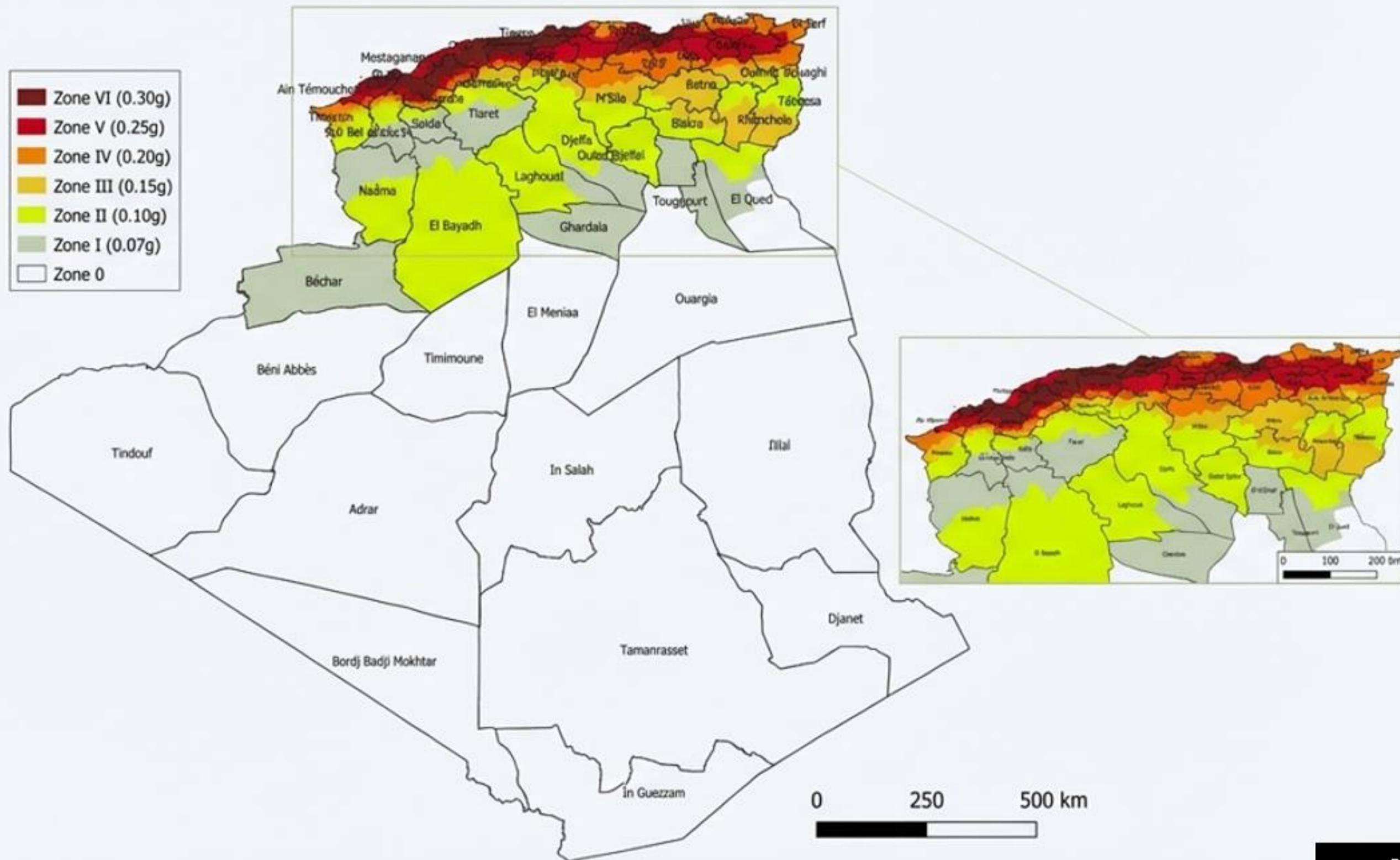


- 3 Spectres de Réponse**
Des spectres actualisés pour une modélisation plus réaliste de l'action sismique.



- 4 Systèmes Structuraux & Ductilité**
Une révision des coefficients de comportement et des dispositions constructives pour un meilleur comportement post-élastique.

La Nouvelle Carte de Classification Sismique (RPA 2024)



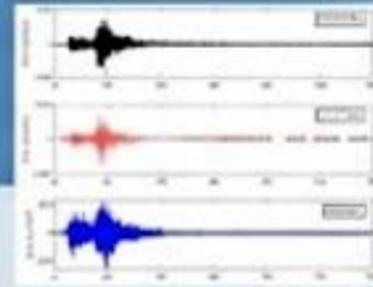
BASE DE DONNÉES ET MODÉLISATION DU MOUVEMENT FORT EN ALGÉRIE

1. BASE DE DONNÉES DE MOUVEMENTS FORTS (À 2018) ET DISTRIBUTION M-R

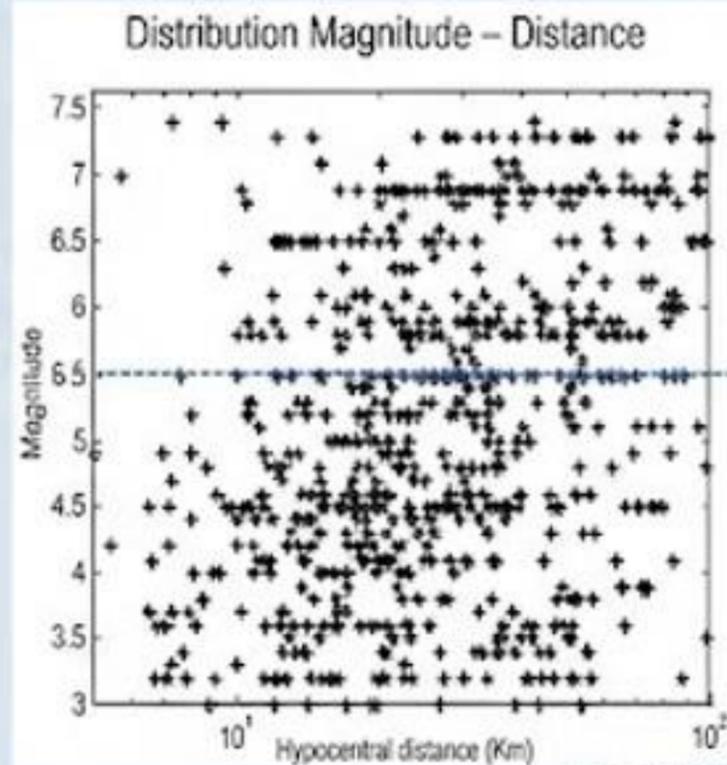


[cite: 13, 1]

- **82** séismes
- **1000** enregistrements (horizontale et verticale)
- Magnitudes 3.0 à 6.8
- Distances ≤ 200 km
- Classes de sol : S1, S2, S3, S4
- + Enregistrements Europe et USA (M>6,0) [cite: 13, 14]



[cite: 13]



[cite: 13, 14]

- **Type 1** (M>5,5) : sismicité modérée à élevée (mhs)
- **Type 2** (M \leq 5,5) : sismicité faible à modérée (wms) [cite: 13, 14]

2. MODÈLE DE PRÉDICTION DU MOUVEMENT FORT ET APPLICATIONS

$$\log_{10} PSA(T) = a(T) \cdot M_w + b(T) \cdot R - \log_{10} R + C_{1,2,3}(T) + \sigma(T)$$

[cite: 2]

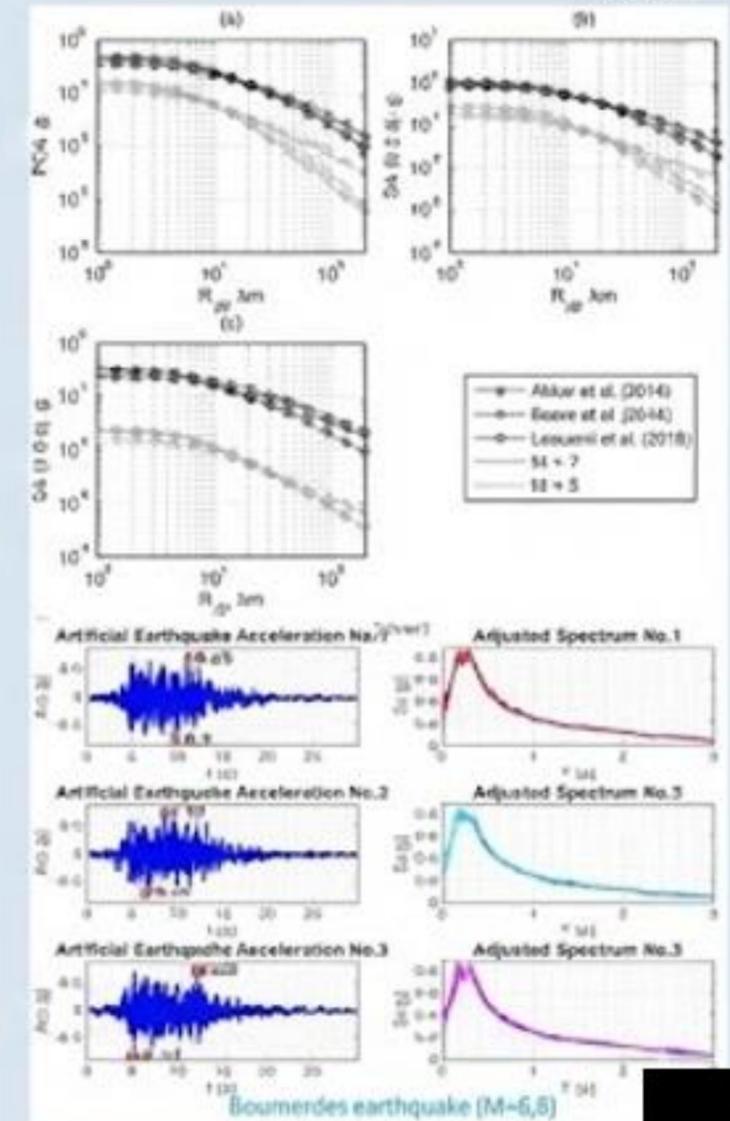
avec :

- **PSA** est le spectre de réponse élastique en accélération,
- **M_w** est la magnitude,
- **R** est la distance hypocentrale (Km),
- **$C_{1,2,3}$** est la classe de sol [cite: 15]

- $a(T)$, $b(T)$, $C_{1,2,3}(T)$ et $\sigma(T)$ sont les paramètres du modèle (dépendant de la période). σ est l'écart type et T est la période (sec). [cite: 15]

Utilisations du modèle :

- Analyse probabiliste de l'Aléa sismique (RPA 2024)
- Scénario sismique (Approche déterministe ou semi probabiliste) [cite: 15]



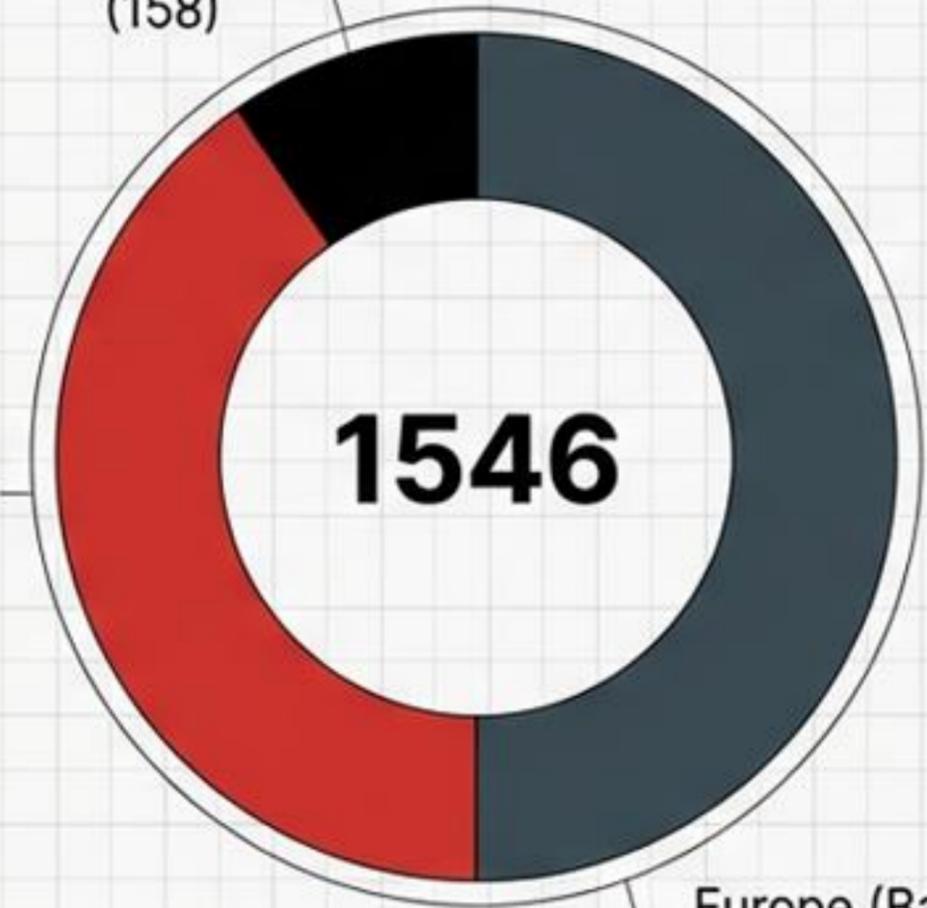
Constitution d'une base de données régionale massive

- Volume de Données : ~2300 enregistrements bruts
- Sélection finale : 773 enregistrements à 3 composantes (Total : 153 séismes)
- Critères de Cohérence :
 - Magnitudes : 3.0 à 7.4
 - Distance hypocentrale : < 200 km
 - Profondeur : < 30 km

Origine des Données (Composantes Horizontales)

USA (USGS/CDMG) : 10%
(158)

Algérie (CGS) :
40% (614)

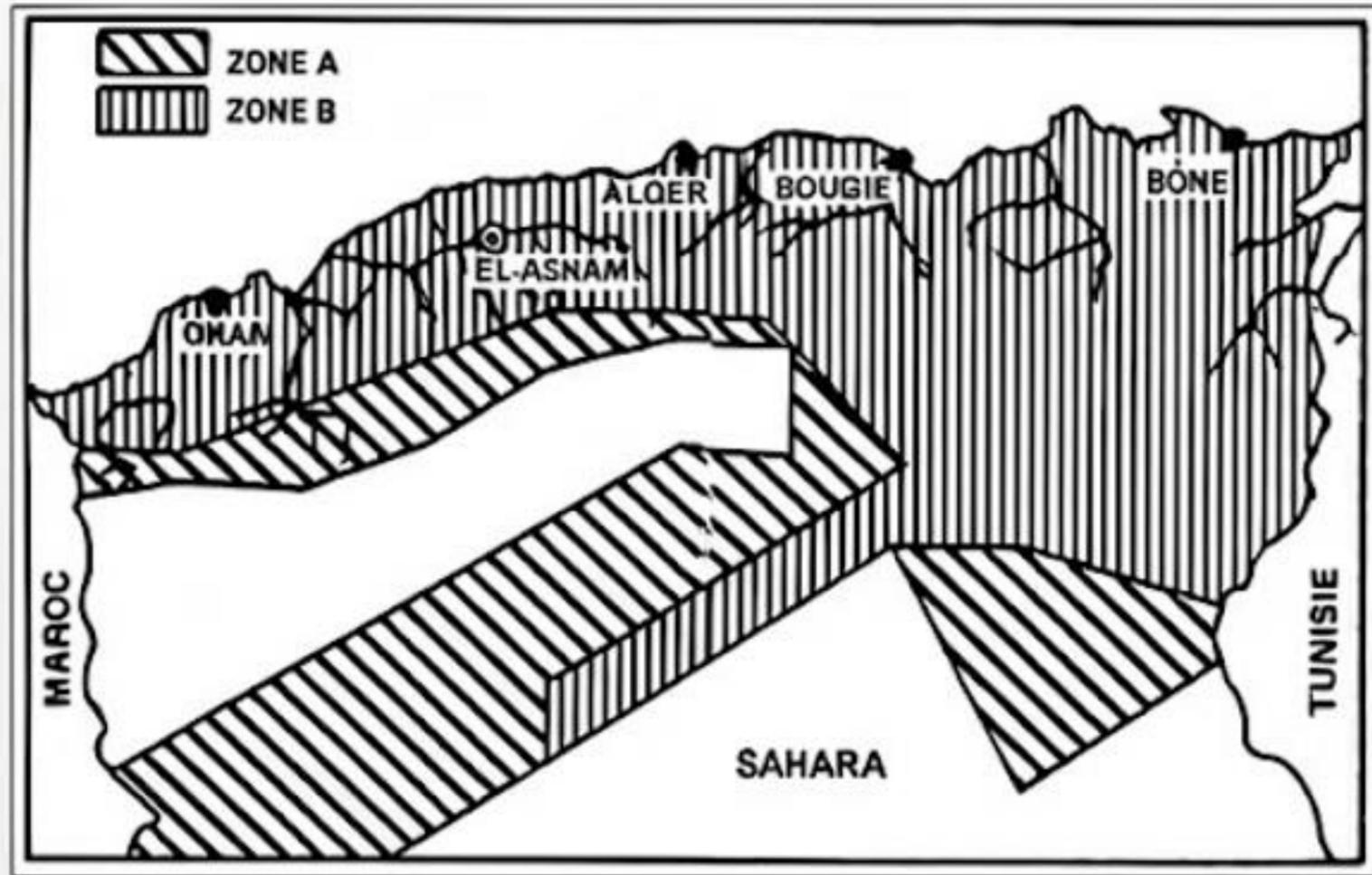


Europe (Base de données européenne) : 50% (774)

ÉVOLUTION DU ZONAGE SISMIQUE DE L'ALGÉRIE

Zones sismiques en Algérie avant 1980 (PS69)

- Basée sur les intensités macrosismiques



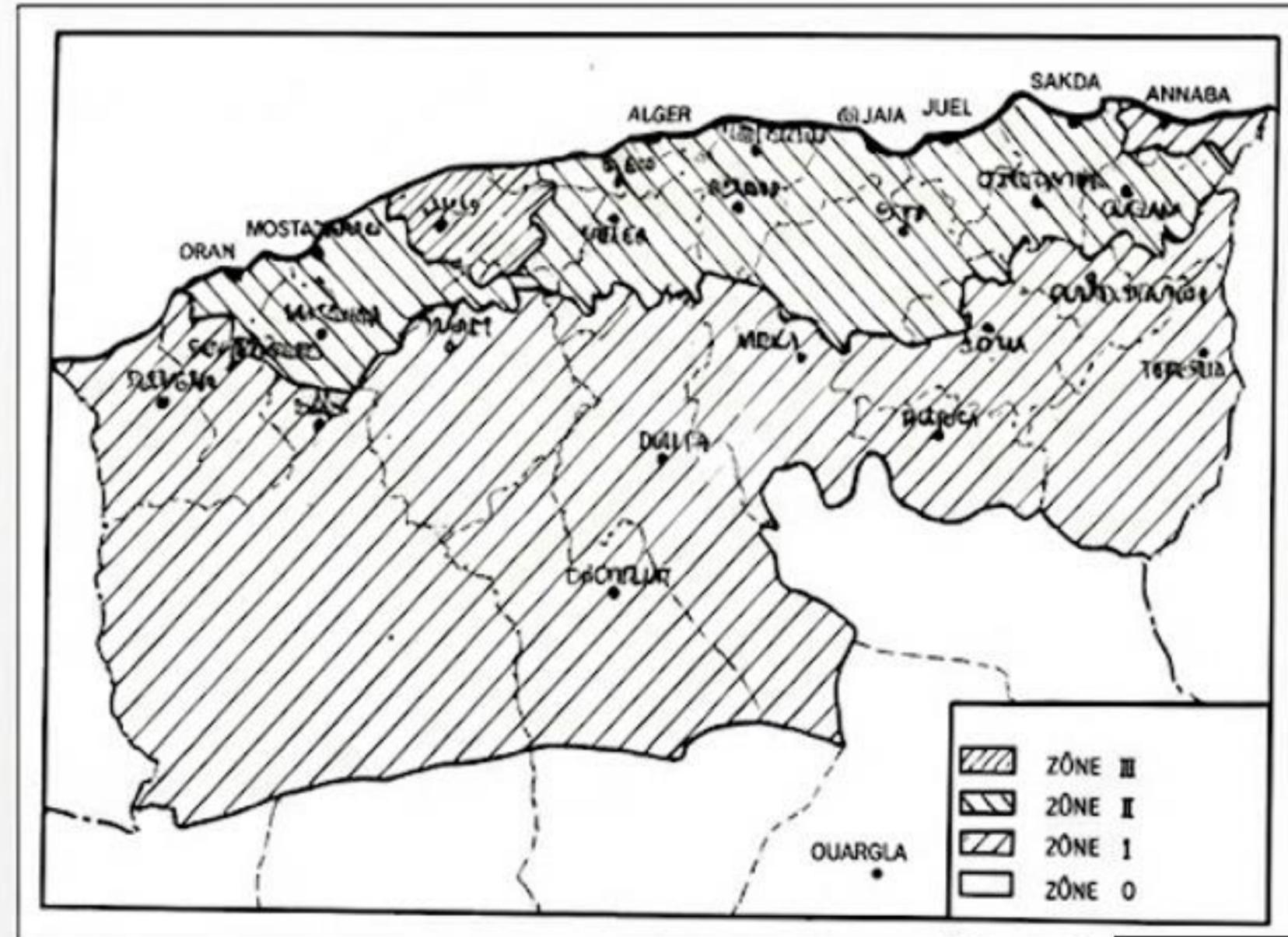
Zones sismiques en Algérie avant 1980 (PS69)

- Basée sur les intensités macrosismiques

[cite: 18]

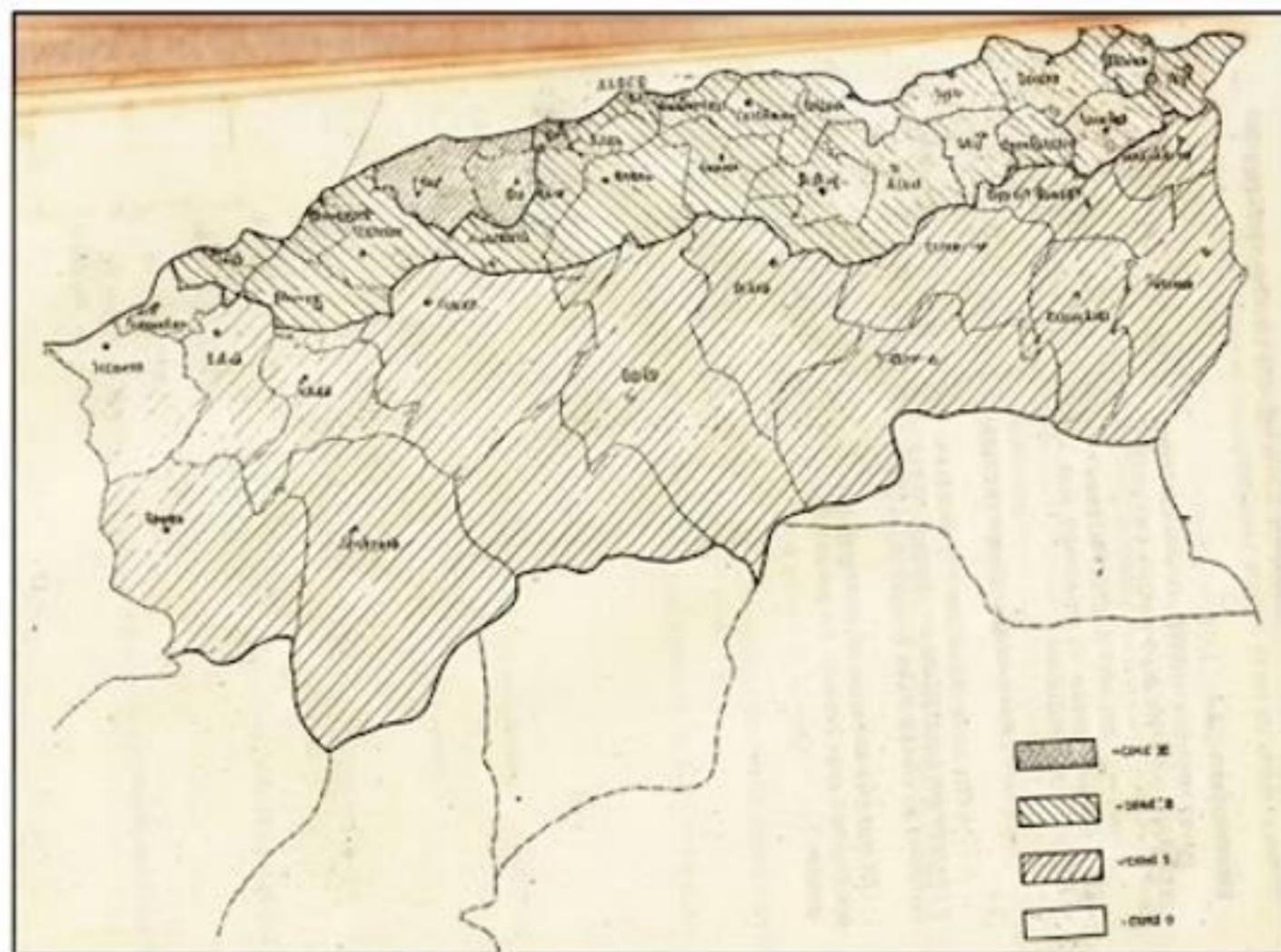
Zonage sismique RPA 81 version 1983

- Basé sur l'étude de Morcat et Shah (1978)

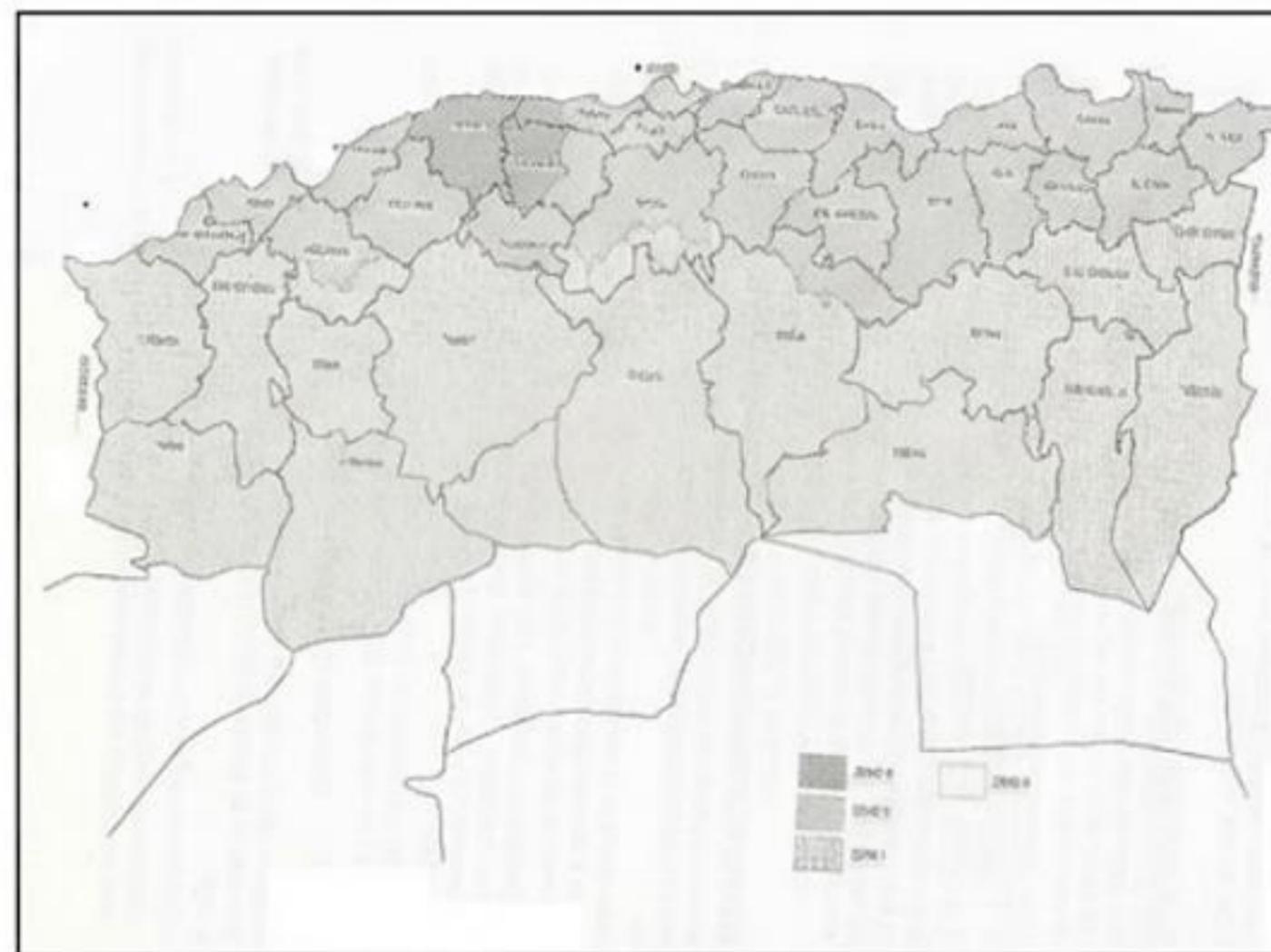


ÉVOLUTION DU ZONAGE SISMIQUE : RPA 88 ET RPA 99

Zonage sismique RPA 88



Zonage sismique RPA 99



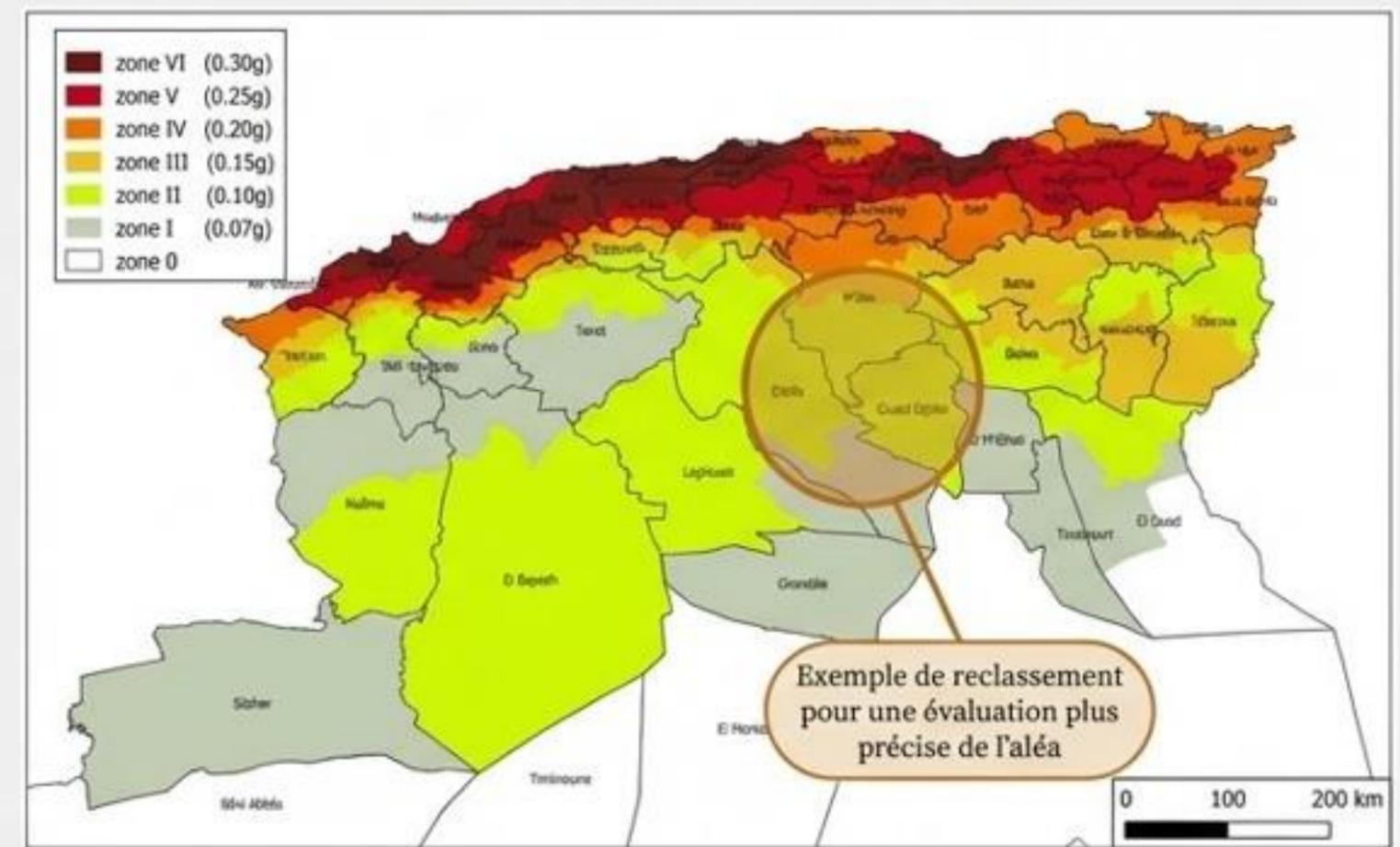
Affinement du Zonage Sismique : D'une Approche par Groupe à une Carte Détaillée

Le RPA 2024 abandonne l'ancienne classification (Zones I, IIa, IIb, III) pour un nouveau zonage en six zones (de 0 à VI), basé sur des études d'aléa probabilistes plus récentes. Cette nouvelle carte offre une définition plus précise de l'accélération de calcul à travers le territoire national.

Zonage Sismique RPA 2003



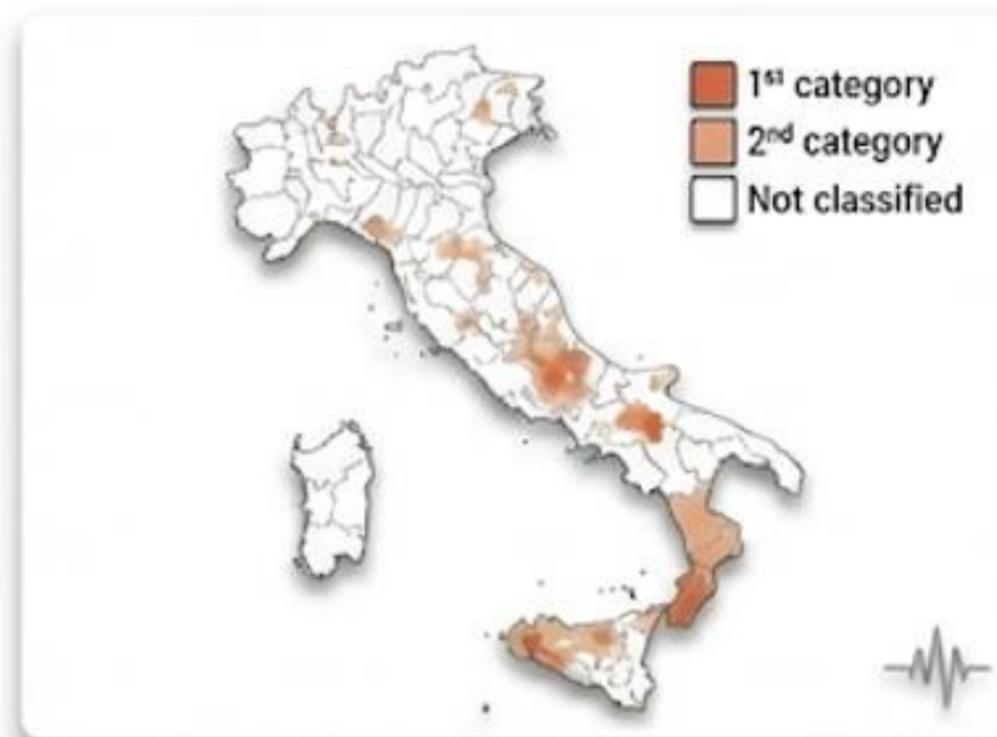
Zonage Sismique RPA 2024



ÉVOLUTION DU ZONAGE SISMIQUE EN ITALIE (1935-2008)



1935



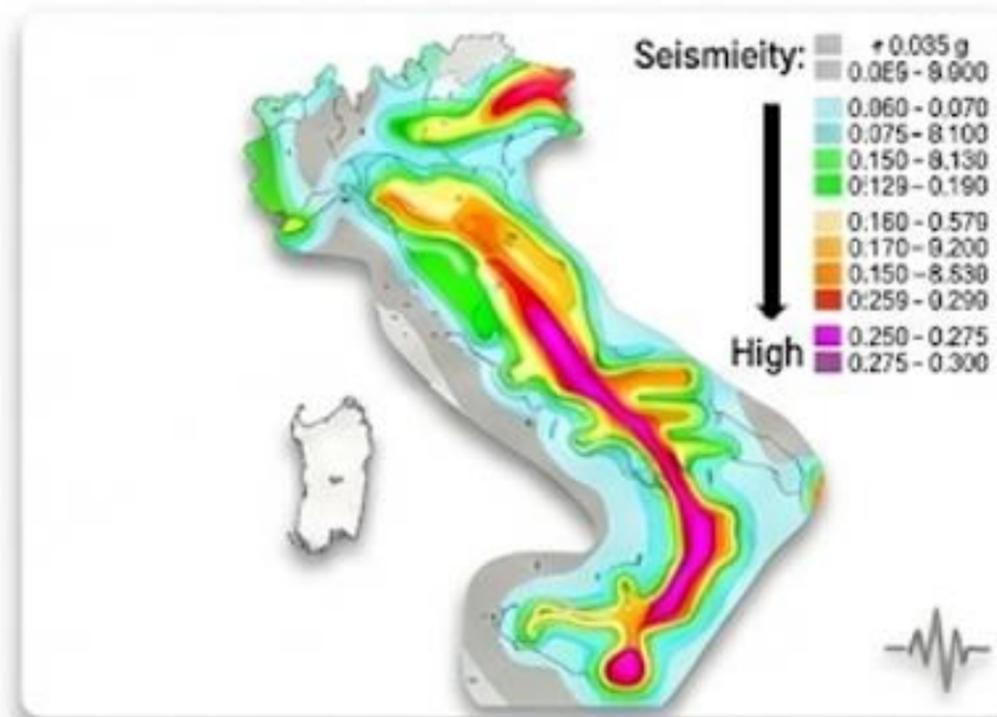
1975



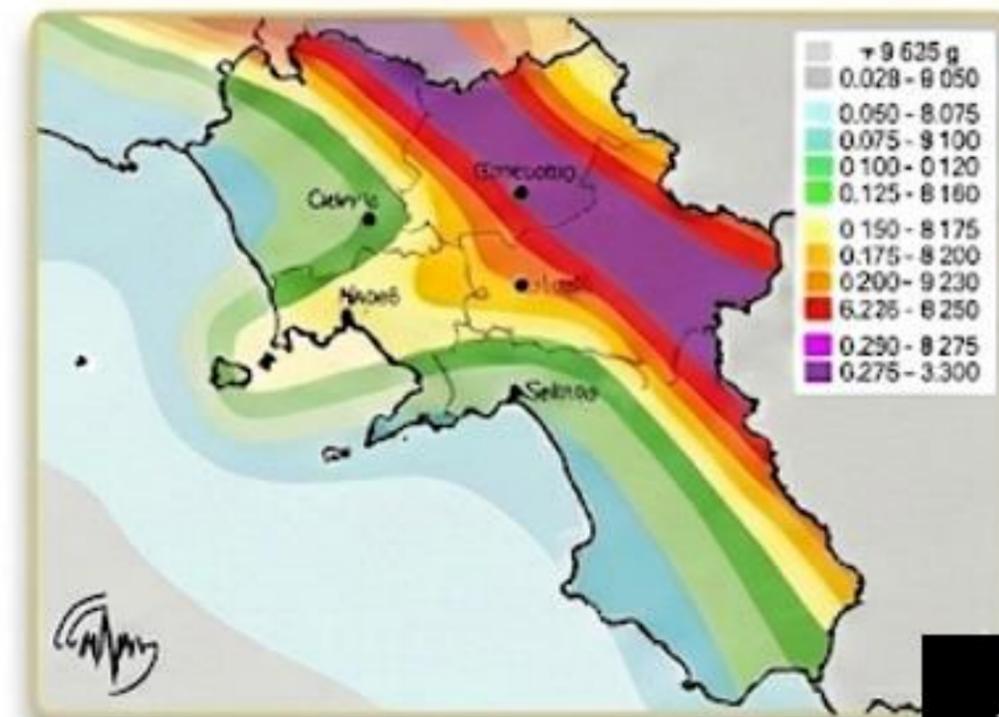
1984



2003



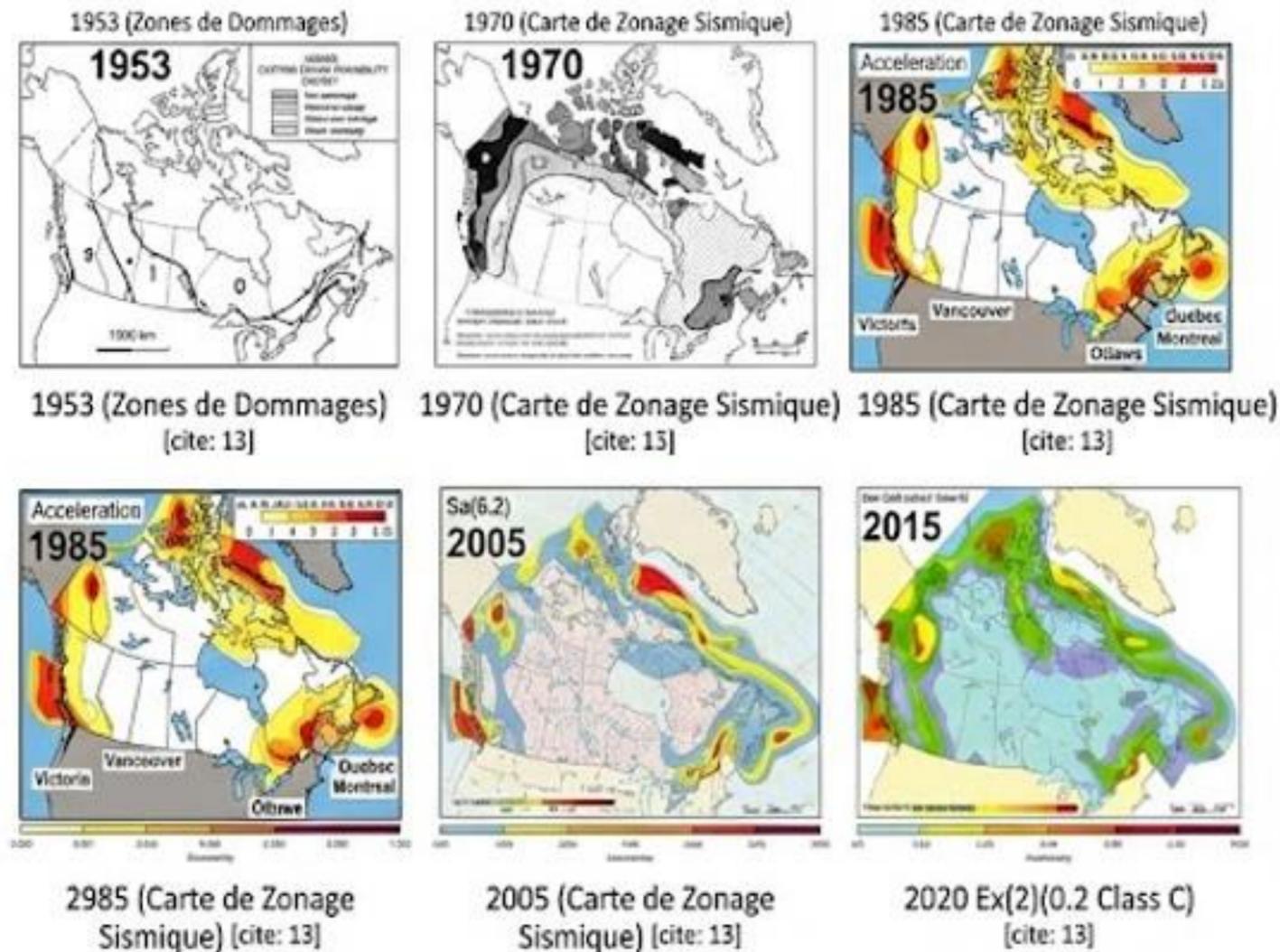
2008 (today in force)



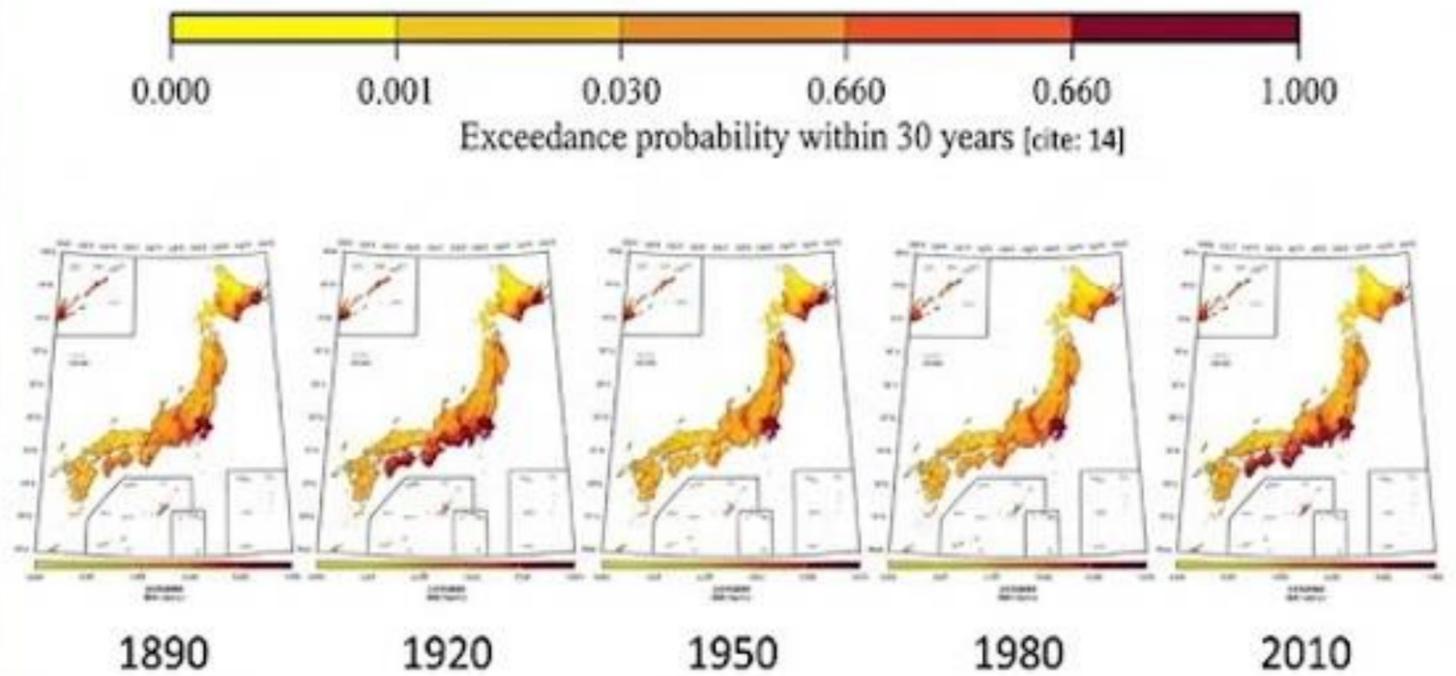
2008 - Campania Region

ÉVOLUTION COMPARÉE DES CARTES D'ALÉA SISMIQUE : CANADA ET JAPON [cite: 17]

CANADA (1953-2020) [cite: 17]



JAPON (1890-2010) [cite: 17]



Probabilistic seismic hazard maps (distributions of the exceedance probability with JMA seismic intensity of equal or larger than 6 lower within 30 years) [cite: 14]

Exemple japonais [cite: 14]

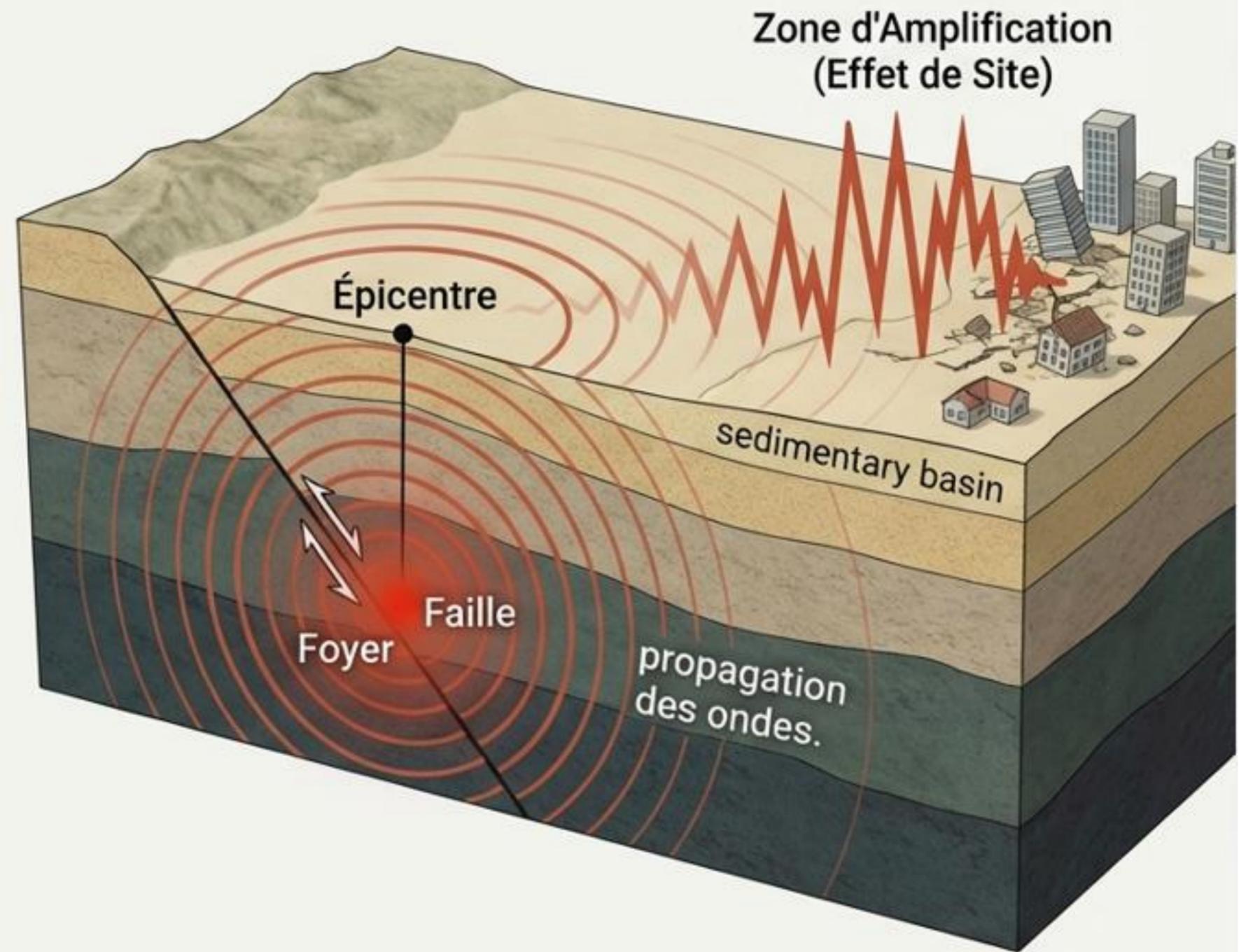
Les Effets de Site Sismiques

Quand la Géologie Locale Amplifie le Danger

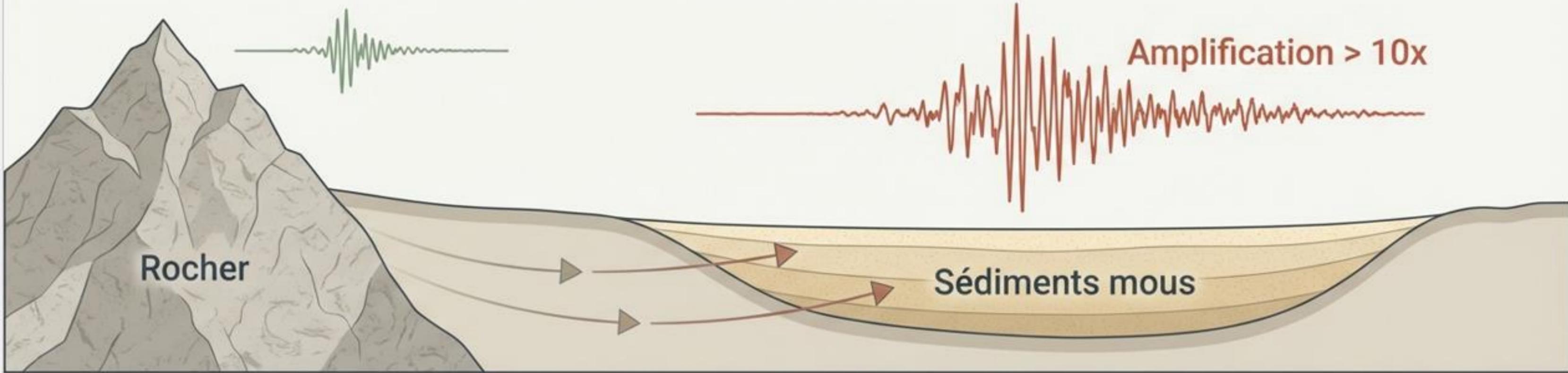
Comprendre l'interaction entre la propagation des ondes et les structures lithologiques.

Le Principe de Base

- L'énergie sismique rayonne depuis le **Foyer (Hypocentre)**.
- L'intensité diminue théoriquement avec la distance de l'**Épicentre**.
- Exception : Les **Effets de Site** créent des zones de destruction massive loin de la faille.



Définition des Effets de Site : Directs et Induits



Effets Directs (Vibrations du Sol)

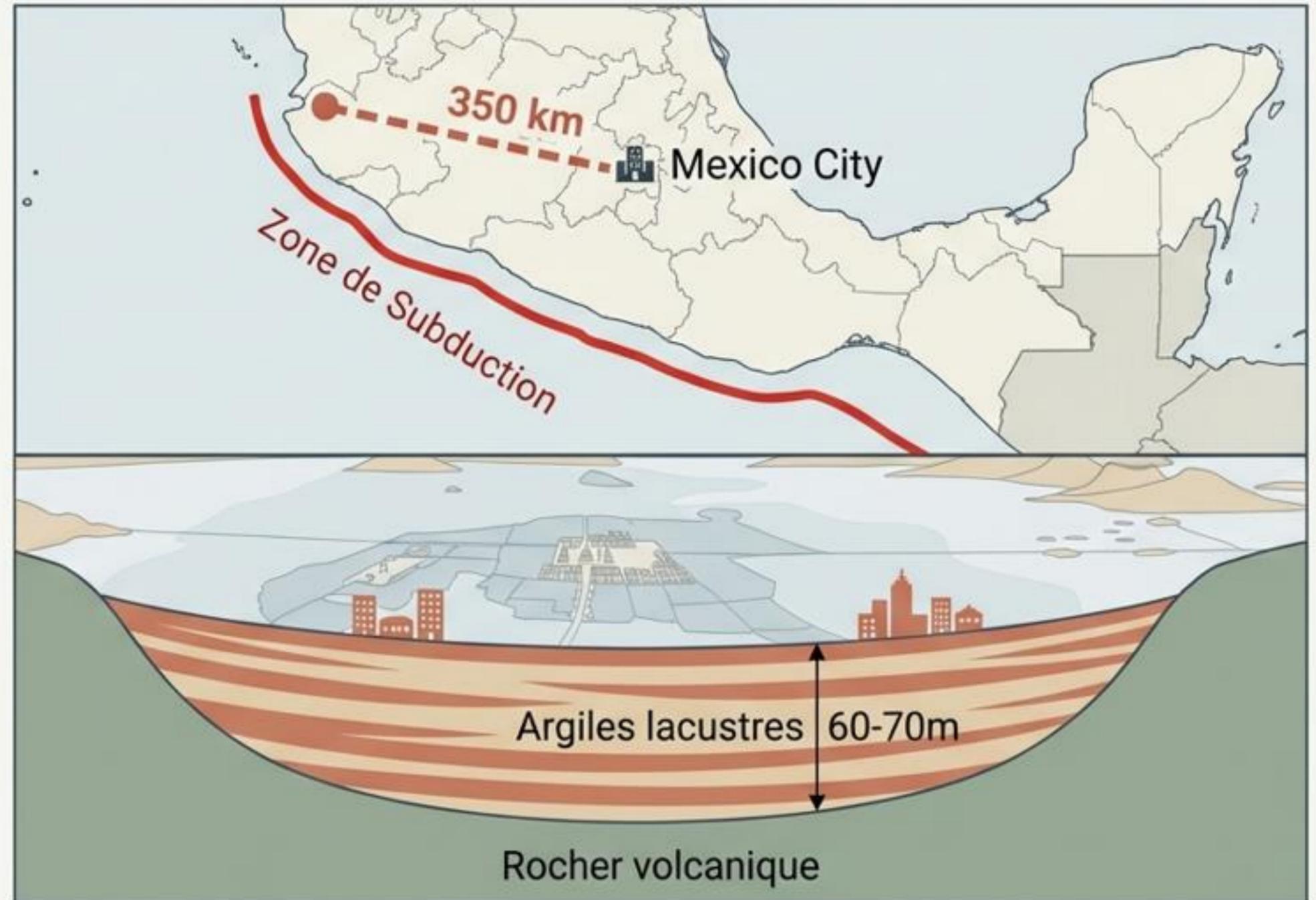
- Modifications par topographie et sédiments.
- Amplifications localisées.
- Dépendance à la fréquence.

Effets Induits (Instabilité du Sol)

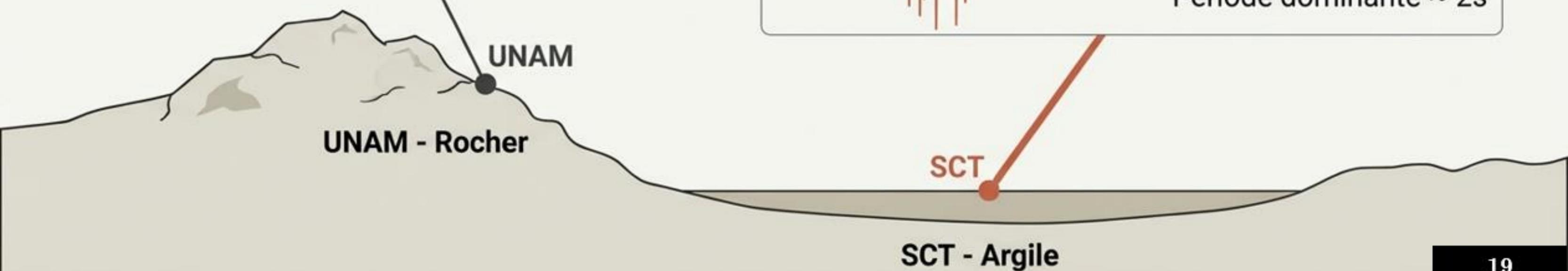
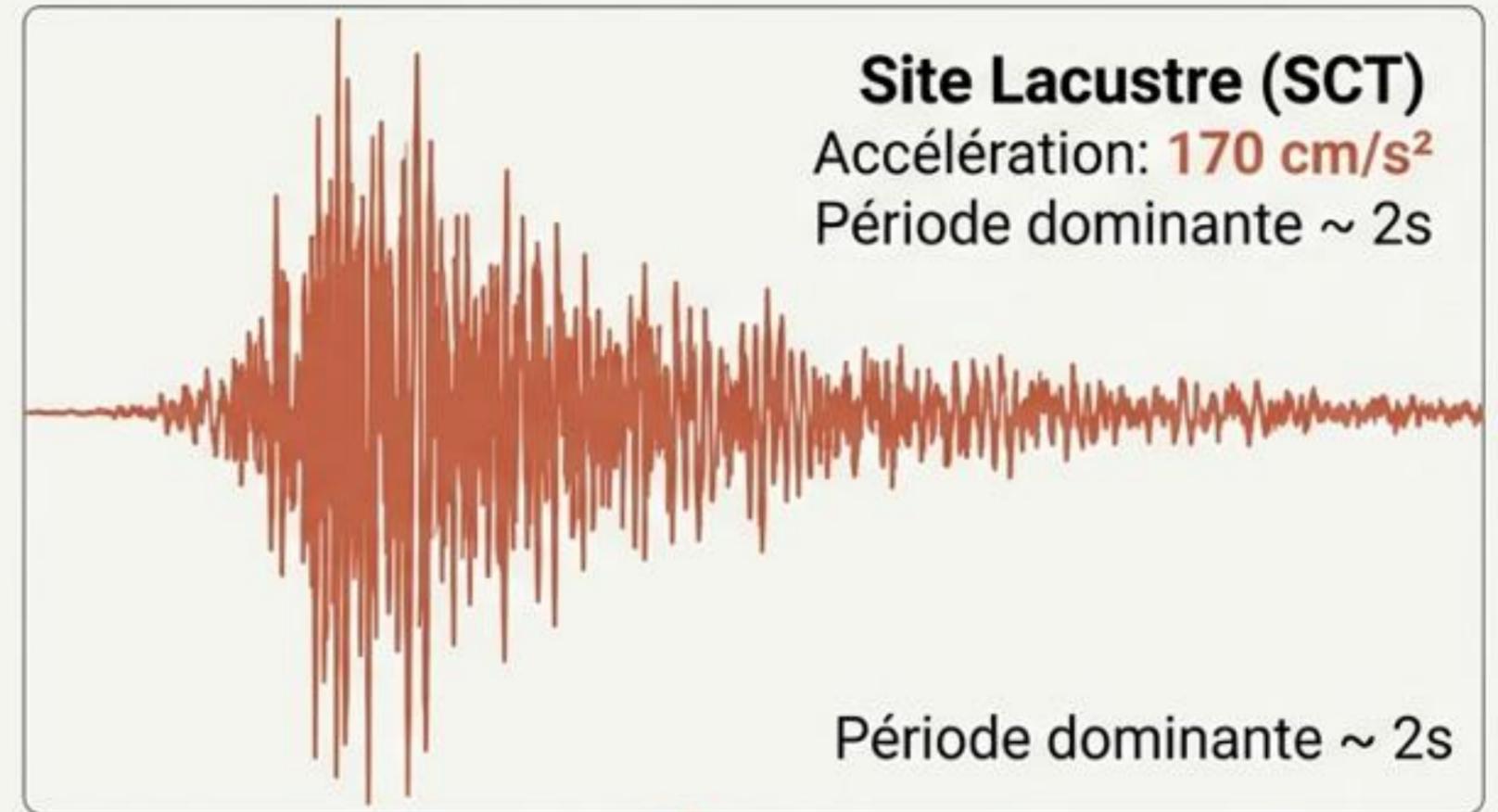
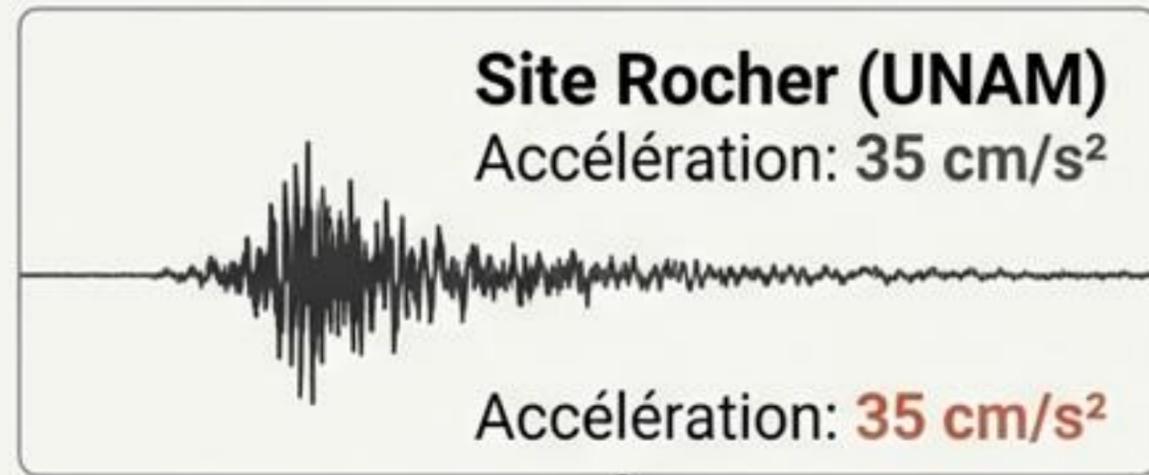
- Liquéfaction (sols sableux saturés).
- Glissements de terrain et chutes de blocs.

Étude de Cas : Le Désastre de Mexico (1985)

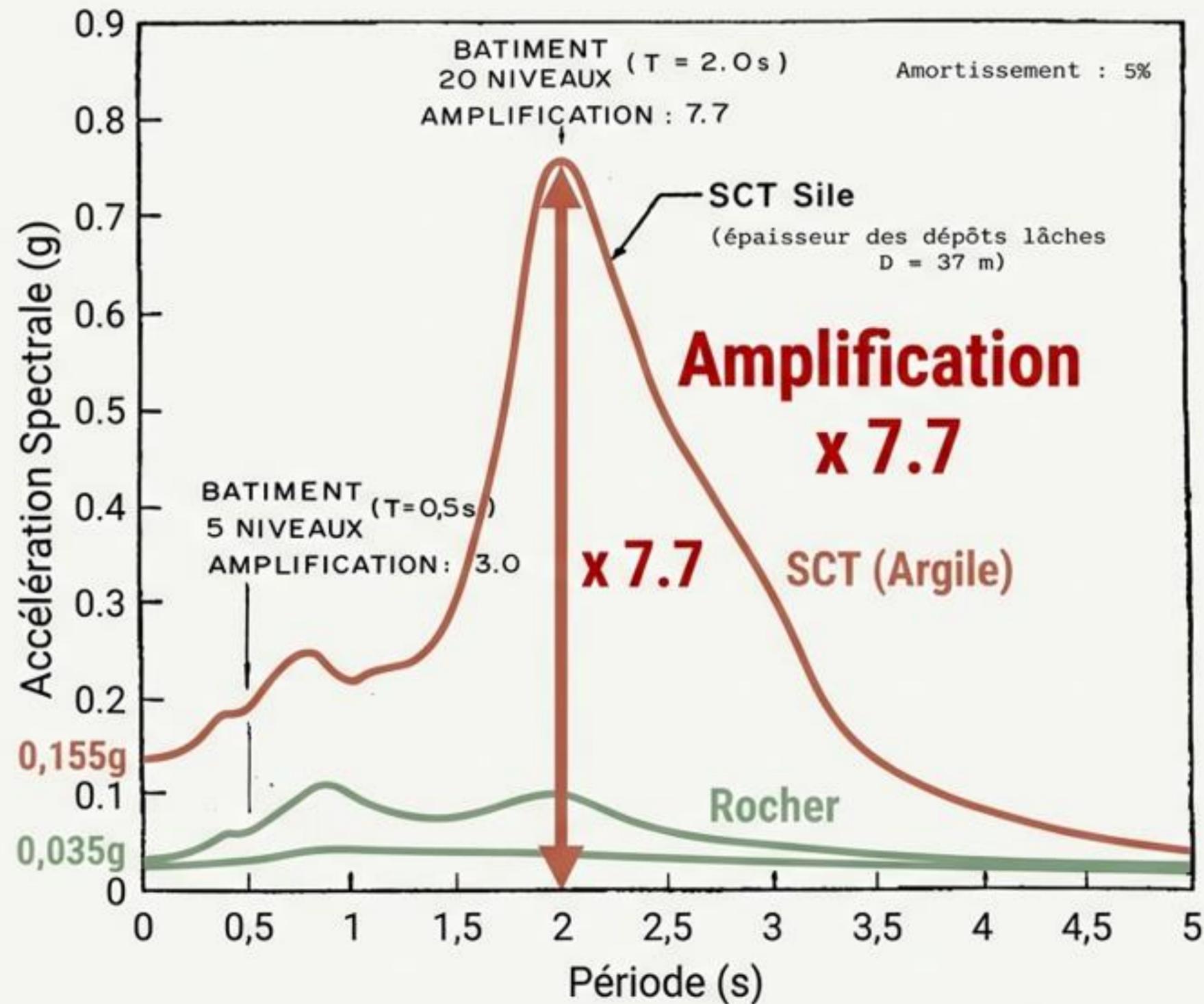
- **Séisme** : 19 Septembre 1985
- **Magnitude** : 8.1
- **Distance** : 350 km de l'épicentre
- **Contexte** : Ville construite sur l'ancien **Lac Texcoco**.



La Preuve Sismique : Roche vs Sédiments Lacustres



Le Mécanisme Fatal : La Double Résonance



Immeuble de 20 étages

$$T_0 = 0.1 \times N \text{ (étages)} \\ = 2.0 \text{ secondes}$$

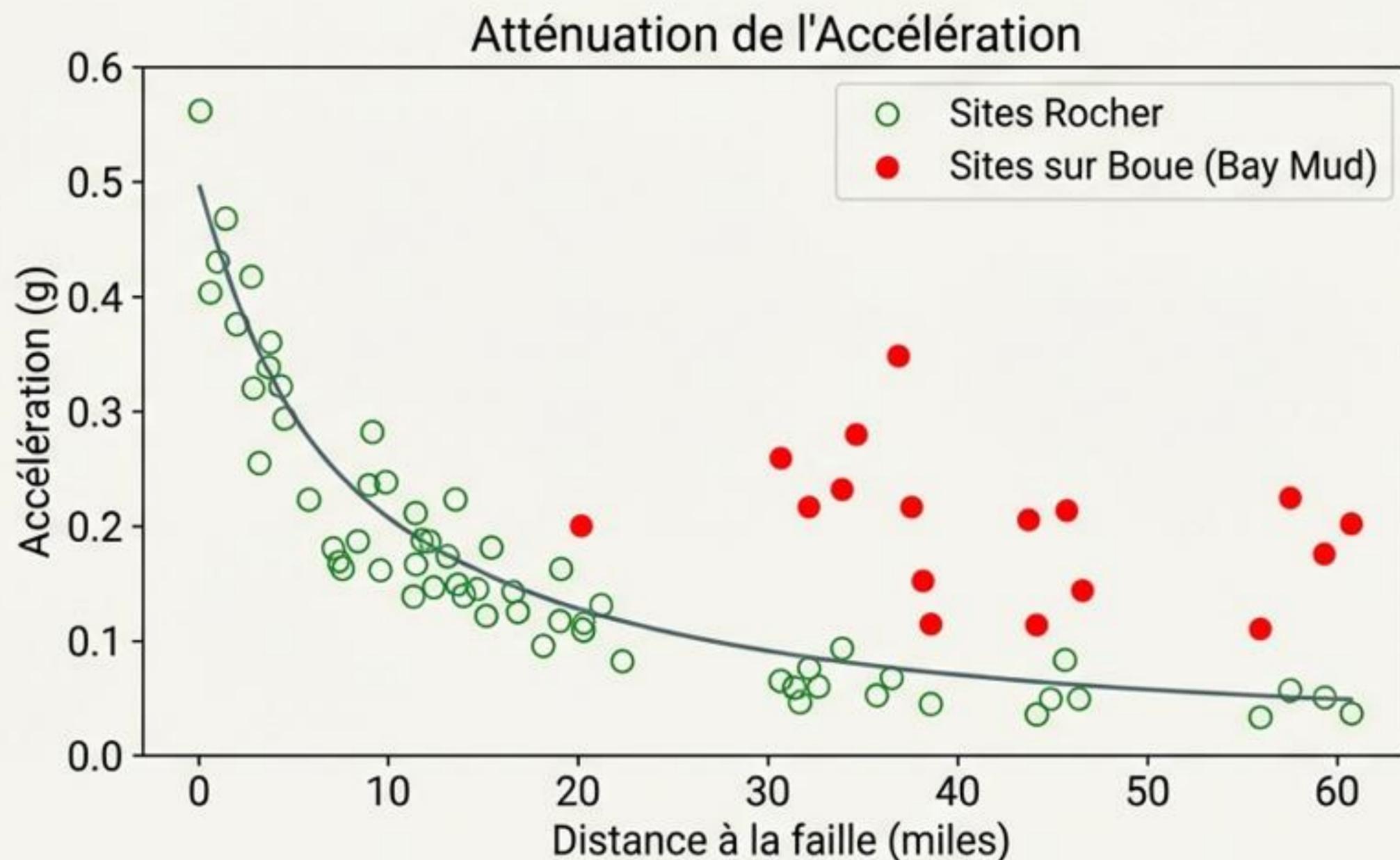
Période du Sol (2s) = Période du Bâtiment (2s)
→ RÉSONANCE DESTRUCTRICE



ège: Mexico Earthquake, 1985

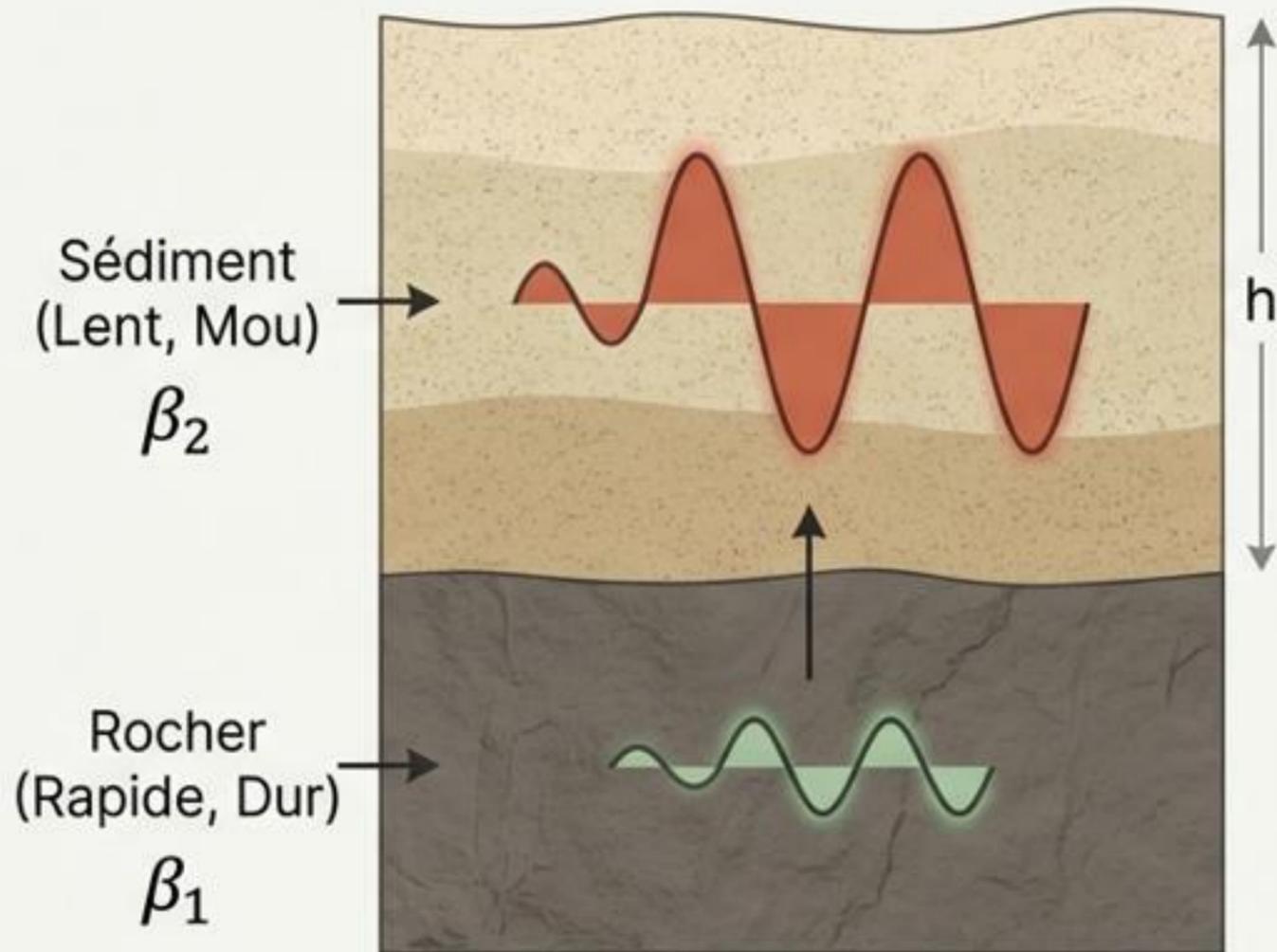
Confirmation du Phénomène : Loma Prieta (1989)

Quand la géologie prévaut sur la distance.



À Loma Prieta, les sites sur sédiments mous (Bay Mud) ont généré des accélérations violentes à plus de 80km de l'épicentre, défiant les lois classiques d'atténuation.

La Physique de l'Amplification 1D



****Contraste d'Impédance****: Conservation d'énergie → Augmentation d'amplitude.

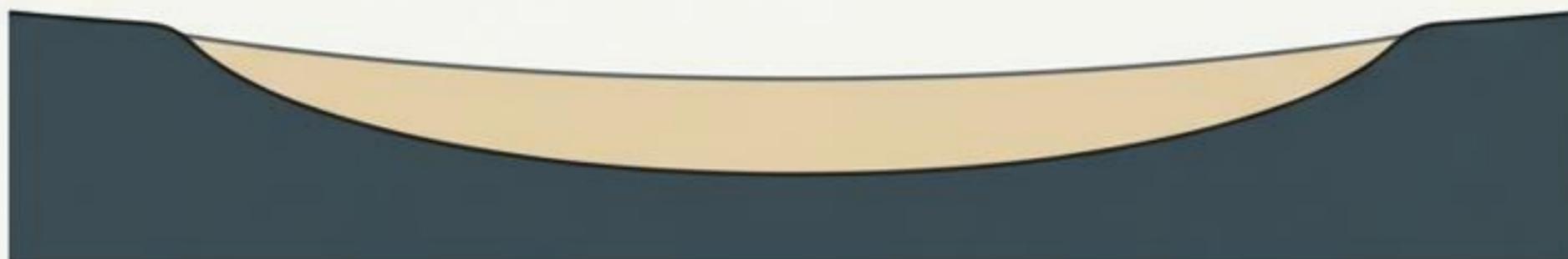
$$f_0 = \frac{\beta_1}{4h}$$

Facteur d'Amplification (A_0)

Vitesse Rocher / Vitesse Sol	Amplification
Ratio 3:1	→ Amp x3
Ratio 10:1	→ Amp x10

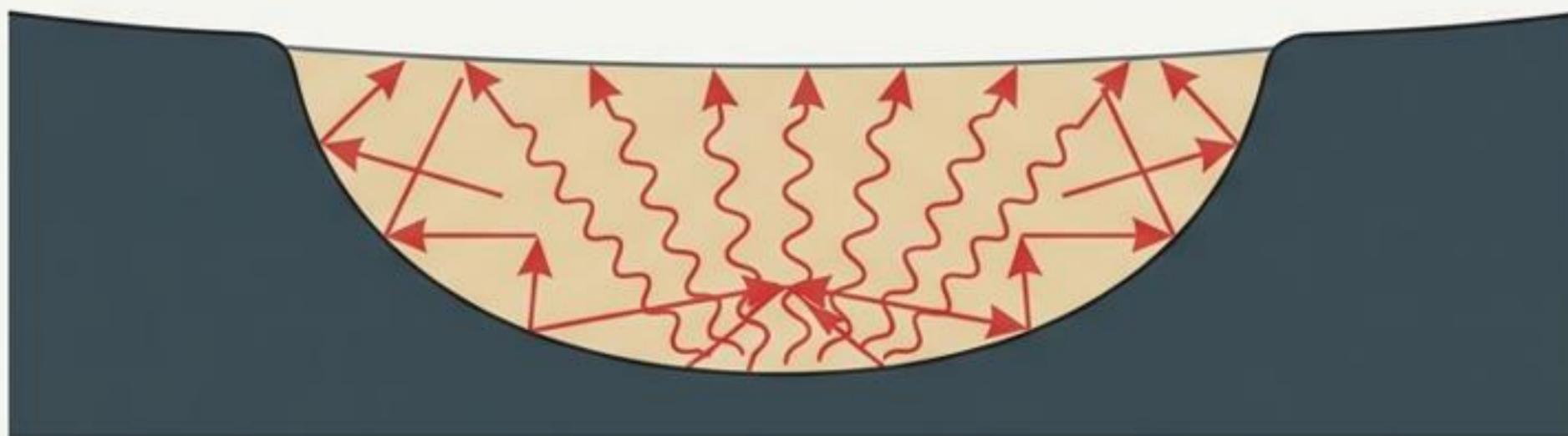
Géométrie Complexe : Les Effets de Bassin (2D/3D)

A) Bassin Large et Peu Profond



L'analyse 1D est valide au centre.

B) Bassin Profond et Étroit (Piège à Ondes)

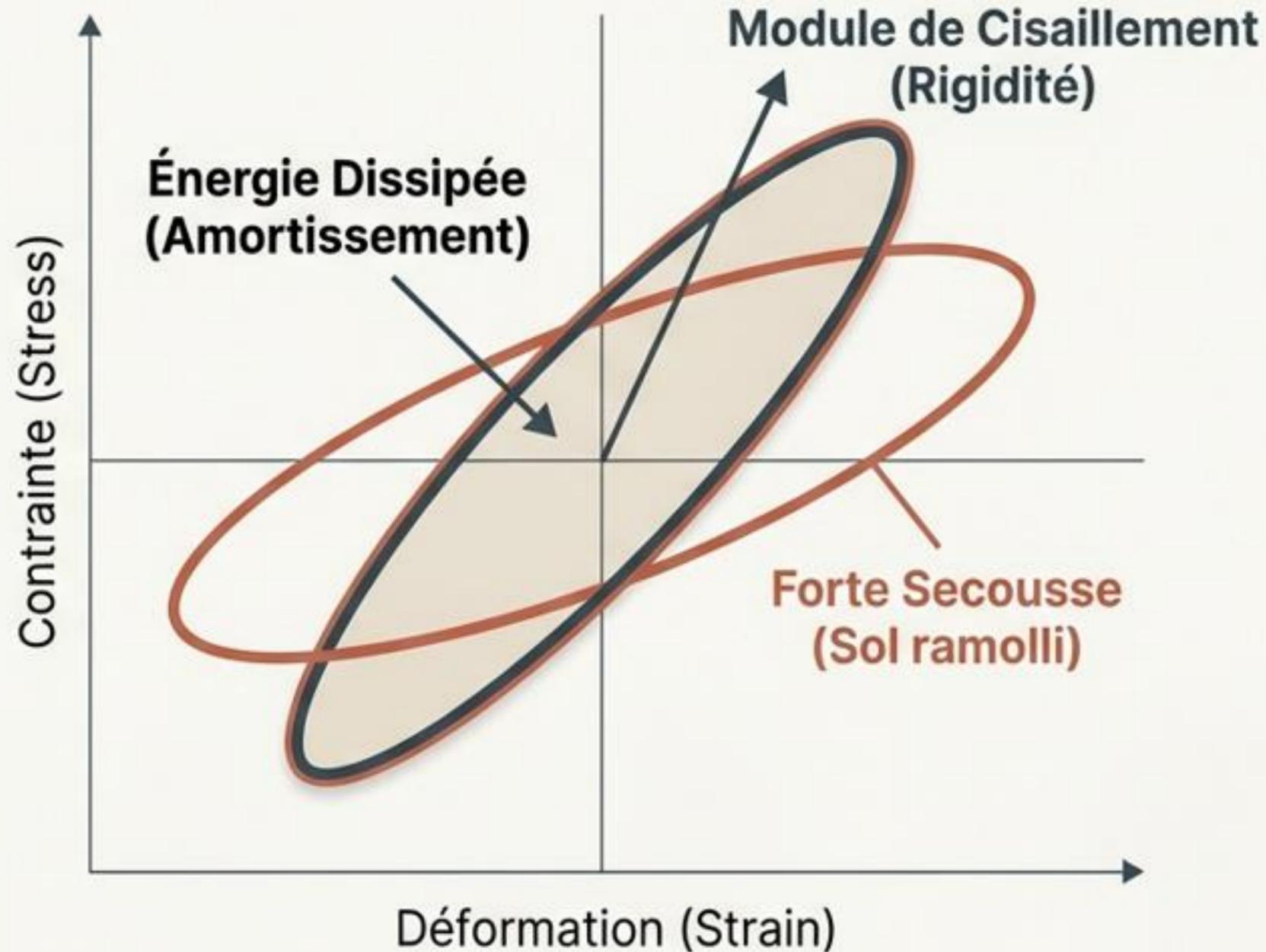


Réverbération latérale + Ondes de surface.

****Le Piège à Ondes**** :
Les bords du bassin réfléchissent l'énergie vers le centre.

****Conséquences**** :
- Durée des secousses prolongée.
- Effet de focalisation (Lentille sismique).

Comportement Réel : La Non-Linearité des Sols



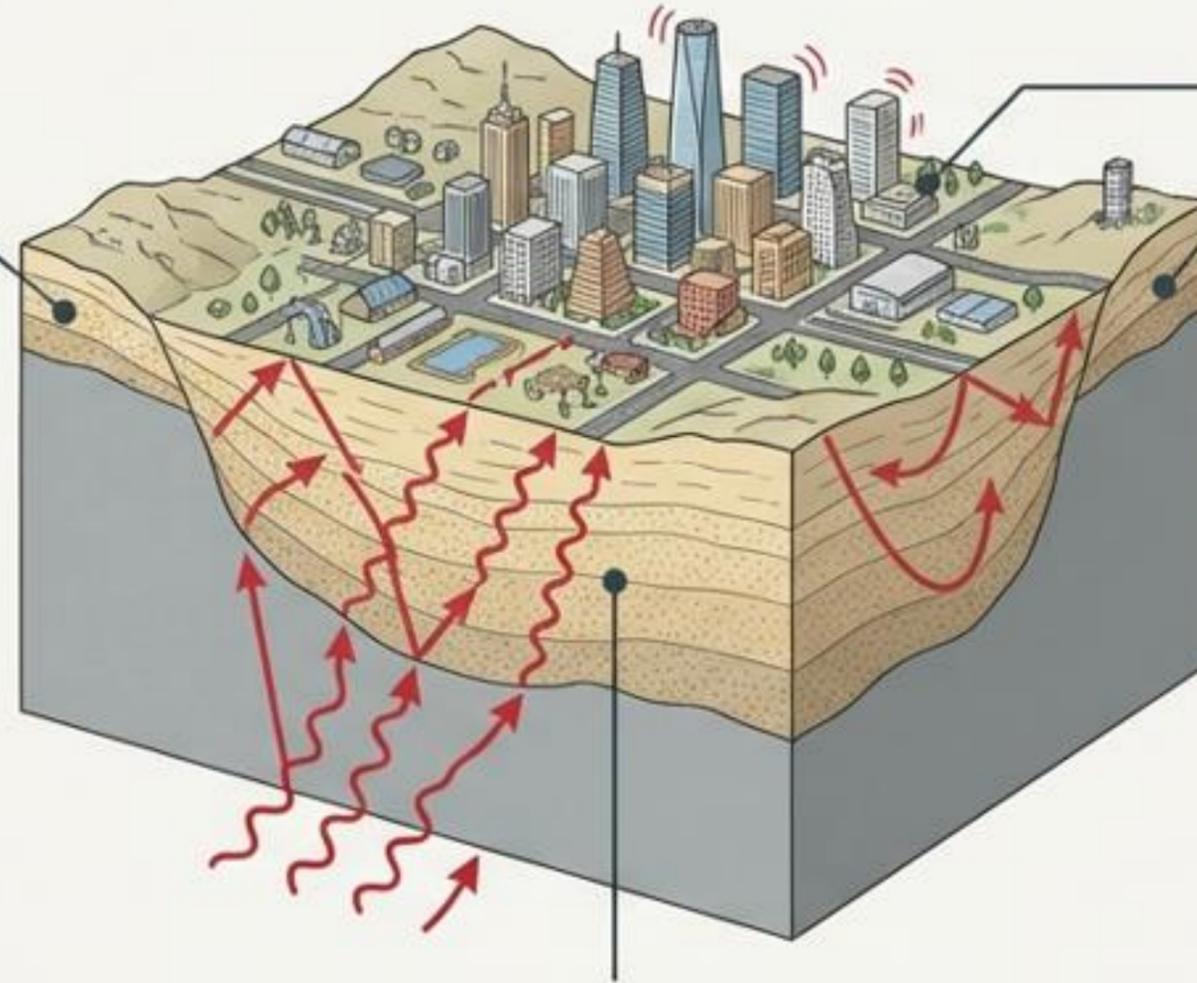
Sous une très forte sollicitation, le sol ne se comporte plus comme un ressort parfait.

- **Perte de rigidité** : La fréquence de résonance change.
- **Amortissement accru** : L'énergie est dissipée, ce qui peut réduire l'amplification des hautes fréquences.

Synthèse : Trois Facteurs Critiques

1. Lithologie

Contraste d'impédance
(Roche/Sol mou).
Contrôle l'amplitude.



2. Géométrie

Effets de bassin (2D/3D).
Piège les ondes et
augmente la durée.

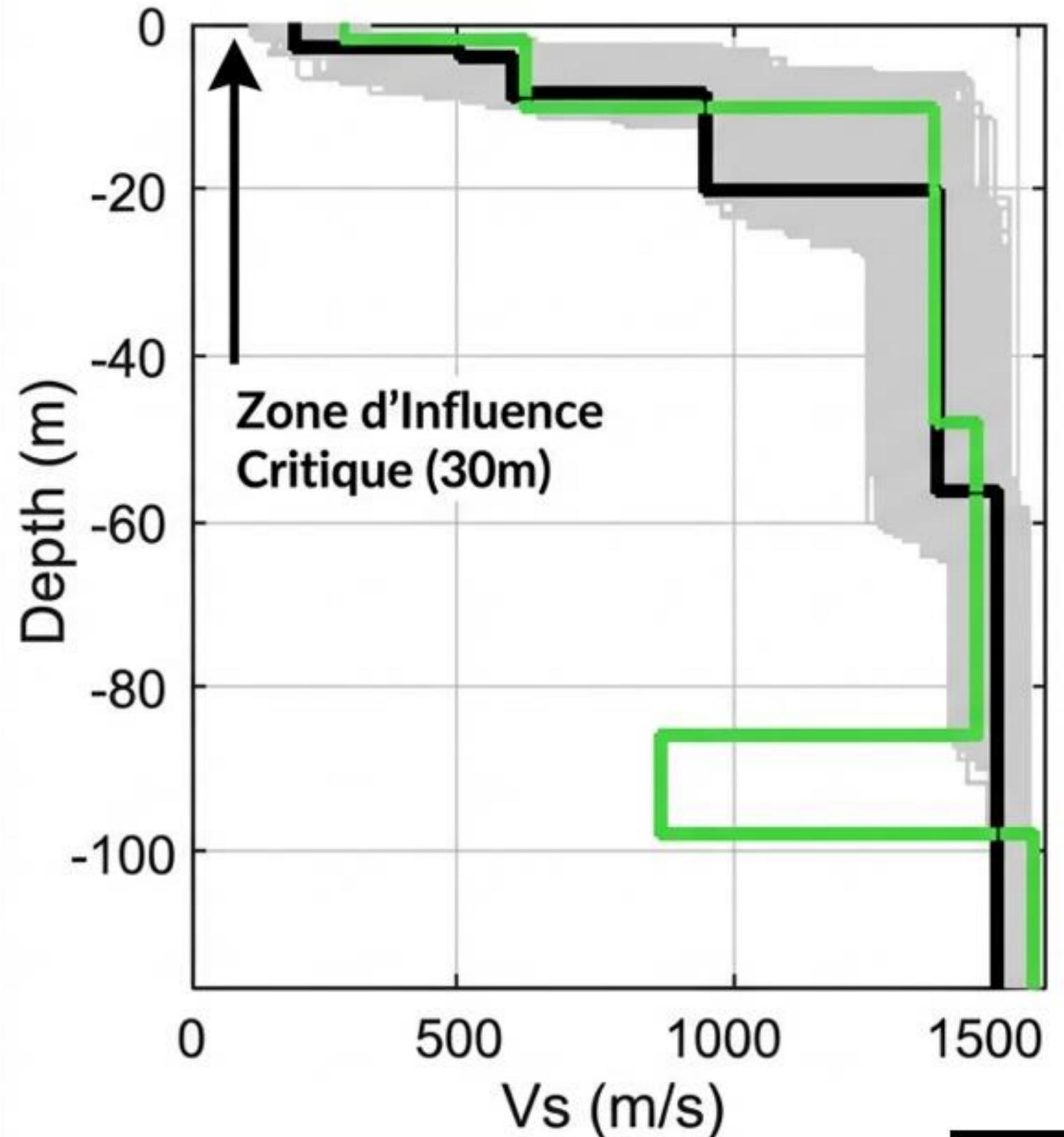
3. Non-Linéarité

Modification des propriétés du sol sous forte contrainte.

Conclusion : Le risque sismique dépend autant du **site** que de la source.
L'analyse spécifique au site est indispensable.

LE CONCEPT V_{s30} : ORIGINE ET JUSTIFICATION

- **Origine Historique** : Introduit au début des années 1990 par l'USGS et le NEHRP (FEMA 222A /223A) pour uniformiser la classification géotechnique.
- **Validation Scientifique** : Travaux de Boore et al. (1993, 1997) démontrant la corrélation entre V_{s30} et l'amplification du mouvement du sol.
- **Pourquoi 30 mètres ?** Compromis scientifique et pratique.
- Mesure fiable par géophysique courante.
- Zone contrôlant l'amplification principale (20-40m).
- Correspond aux périodes propres des bâtiments standards.



ACQUISITION DE DONNÉES : GÉOPHYSIQUE PASSIVE

- **Technique** : Utilisation de bruits de fond (microtremors) et la méthode du rapport spectral H/V (HVSR).
- **Avantages** : Non invasif, rapide (15-30 mn), économique. Idéal en milieu urbain.
- **Équipement** : Sismographes CityShark II avec capteurs Lennartz.



Configuration sur le terrain (CityShark II + capteur bleu)



Détail capteur Lennartz (orange)

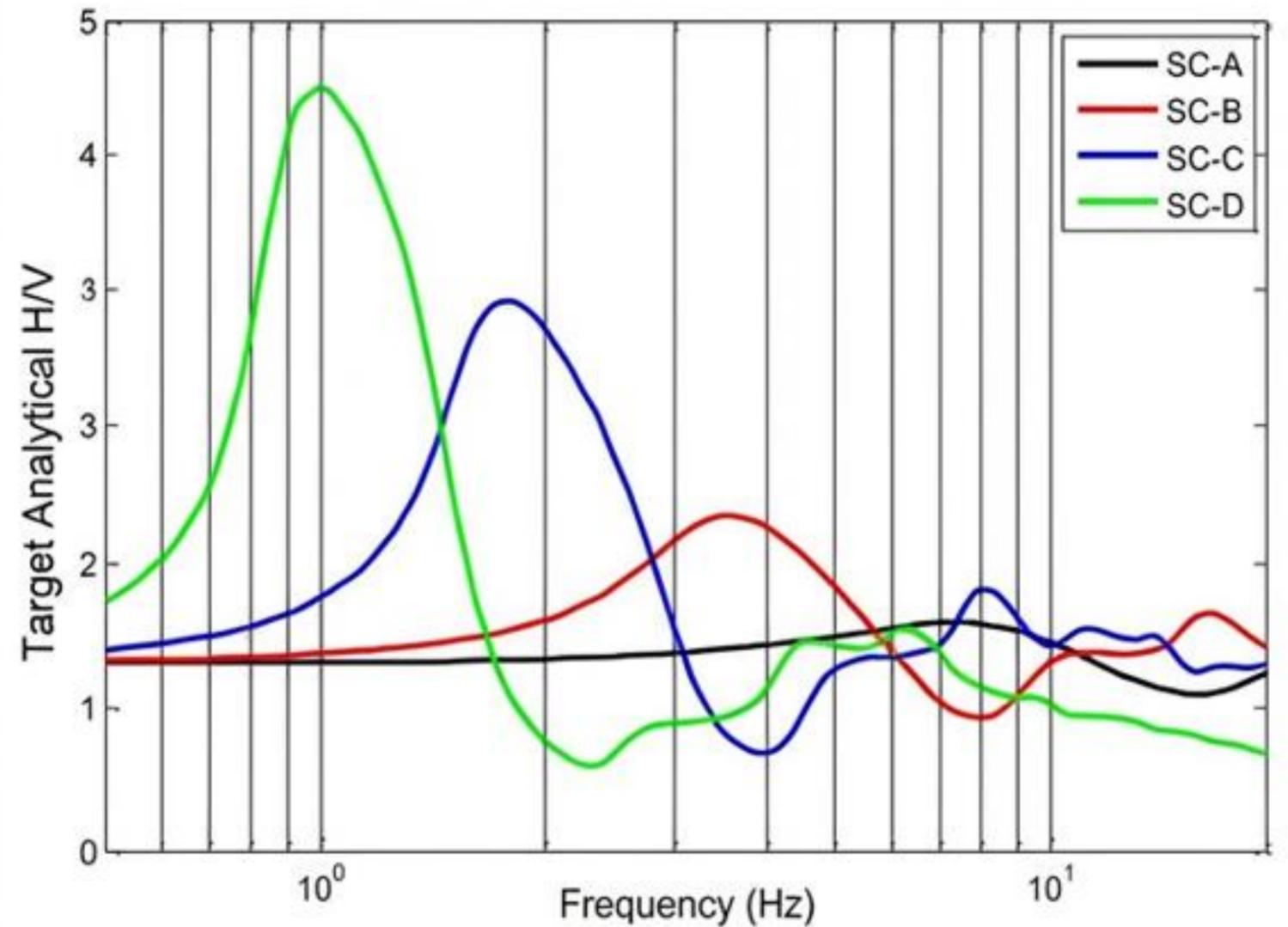


Opérateur et échelle humaine en milieu aride

LE MODÈLE DE CLASSIFICATION LAOUAMI ET AL. (2018)

$$h\nu_{cible}(i\omega) = c \left[\frac{1+2i\zeta_{g1}\frac{\omega}{\omega_{g1}}}{\left(1-\frac{\omega^2}{\omega_{g1}^2}\right)^{d_1} + 2i\zeta_{g1}\frac{\omega}{\omega_{g1}}} \cdot \frac{1+2i\zeta_{g2}\frac{\omega}{\omega_{g2}}}{\left(1-\frac{\omega^2}{\omega_{g2}^2}\right)^{d_2} + 2i\zeta_{g2}\frac{\omega}{\omega_{g2}}} \right]$$

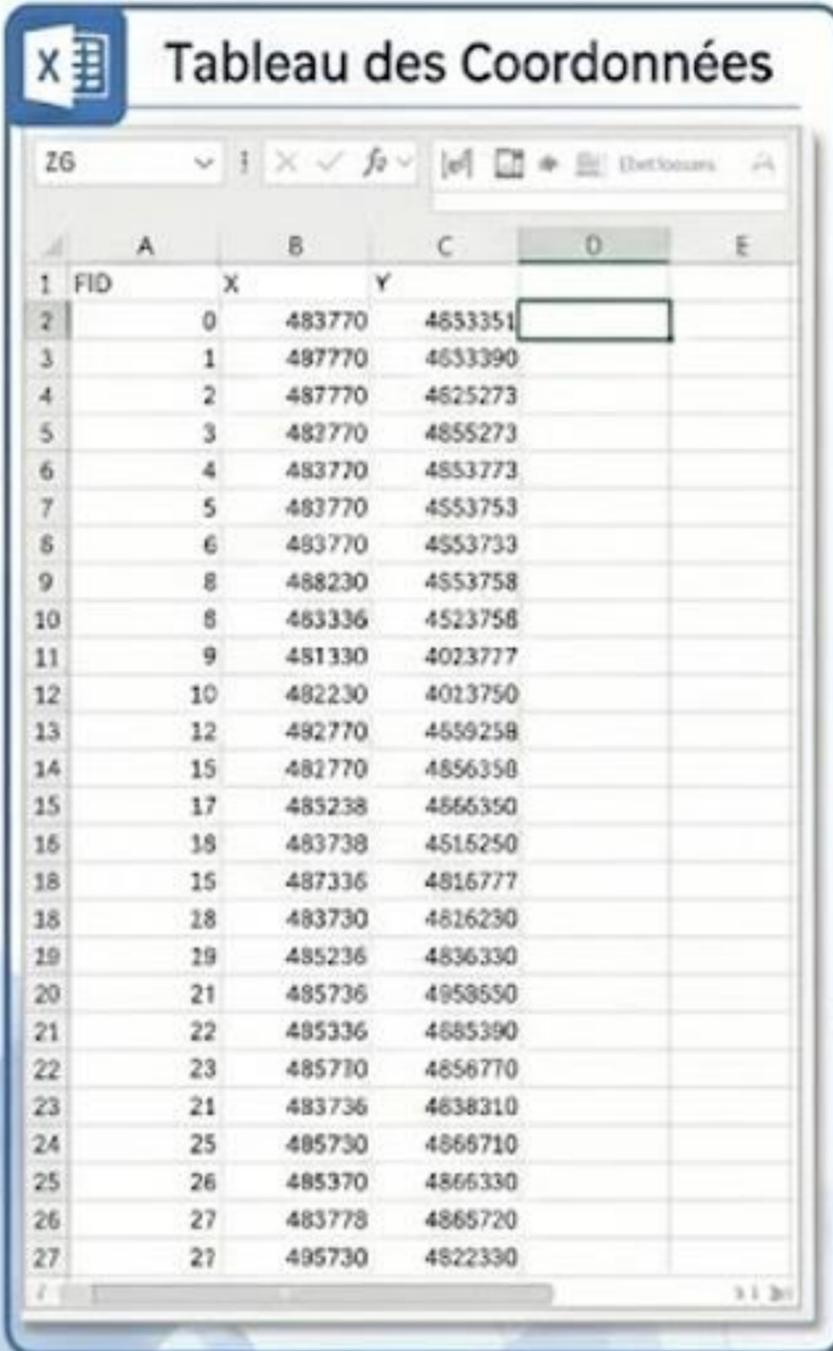
- **SCA (Rocher)** : Fréquence > 5.75 Hz
- **SCB (Sol Ferme)** : 2.78 – 5.75 Hz
- **SCC (Sol Meuble)** : 1.43 – 2.78 Hz
- **SCD (Sol Très Meuble)** : < 1.43 Hz



CAMPAGNE DE MESURE

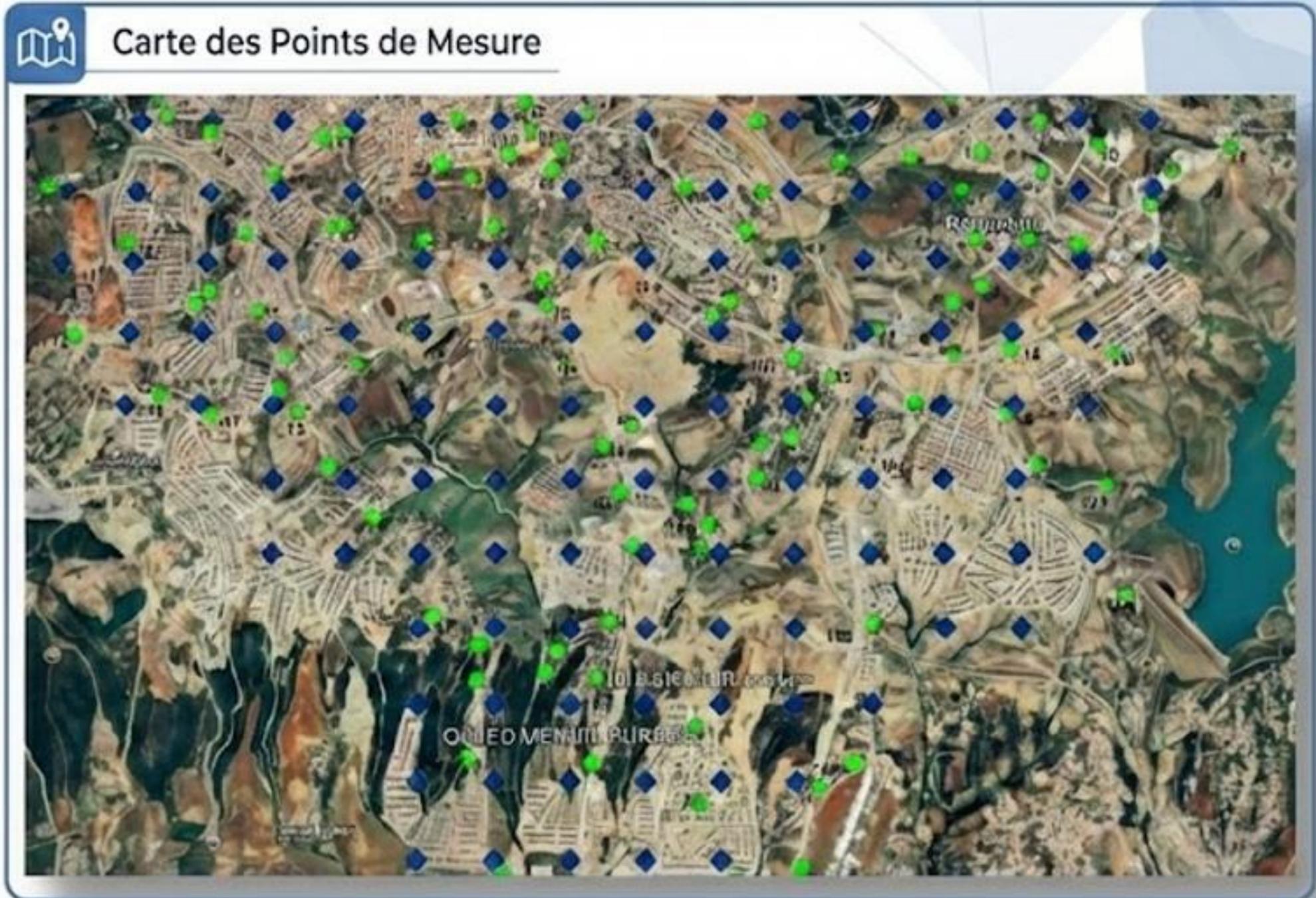
MICROZONAGE SISMIQUE DE LA VILLE NOUVELLE DE SIDI ABDELLAH

Tableau des Coordonnées



FID	X	Y
0	483770	4853351
1	487770	4853390
2	487770	4852573
3	482770	4855273
4	483770	4853773
5	483770	4553753
6	483770	4553733
8	488230	4553758
8	483336	4523758
9	481330	4023777
10	482230	4013750
12	482770	4559258
15	482770	4856350
17	485238	4866350
18	483738	4515250
15	487336	4816777
18	483730	4816230
19	485236	4836330
21	485736	4958530
22	485336	4885390
23	485710	4856770
21	483736	4838310
25	485730	4866710
26	485370	4866330
27	483778	4865720
27	495730	4822330

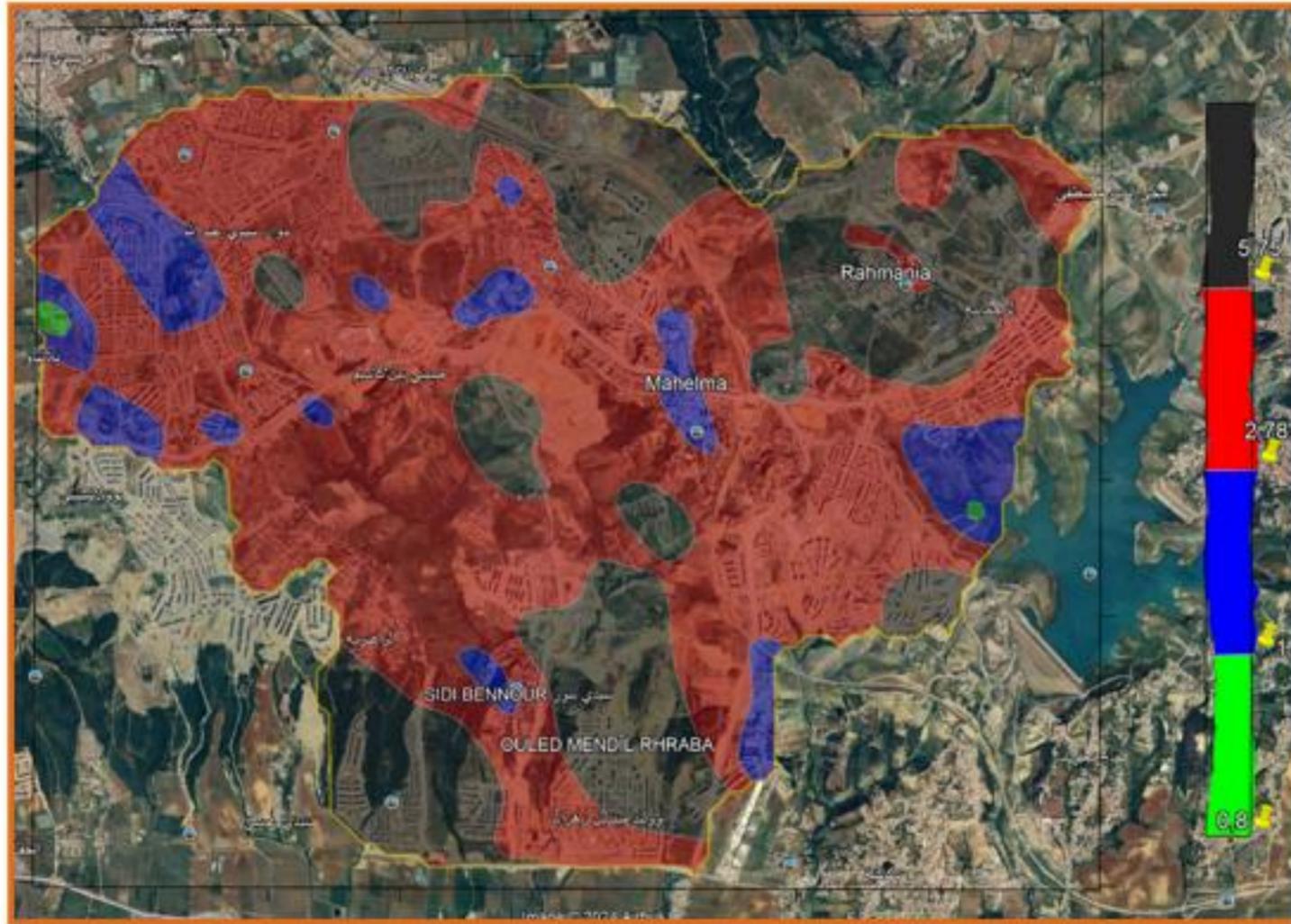
Tableau des Coordonnées des Points



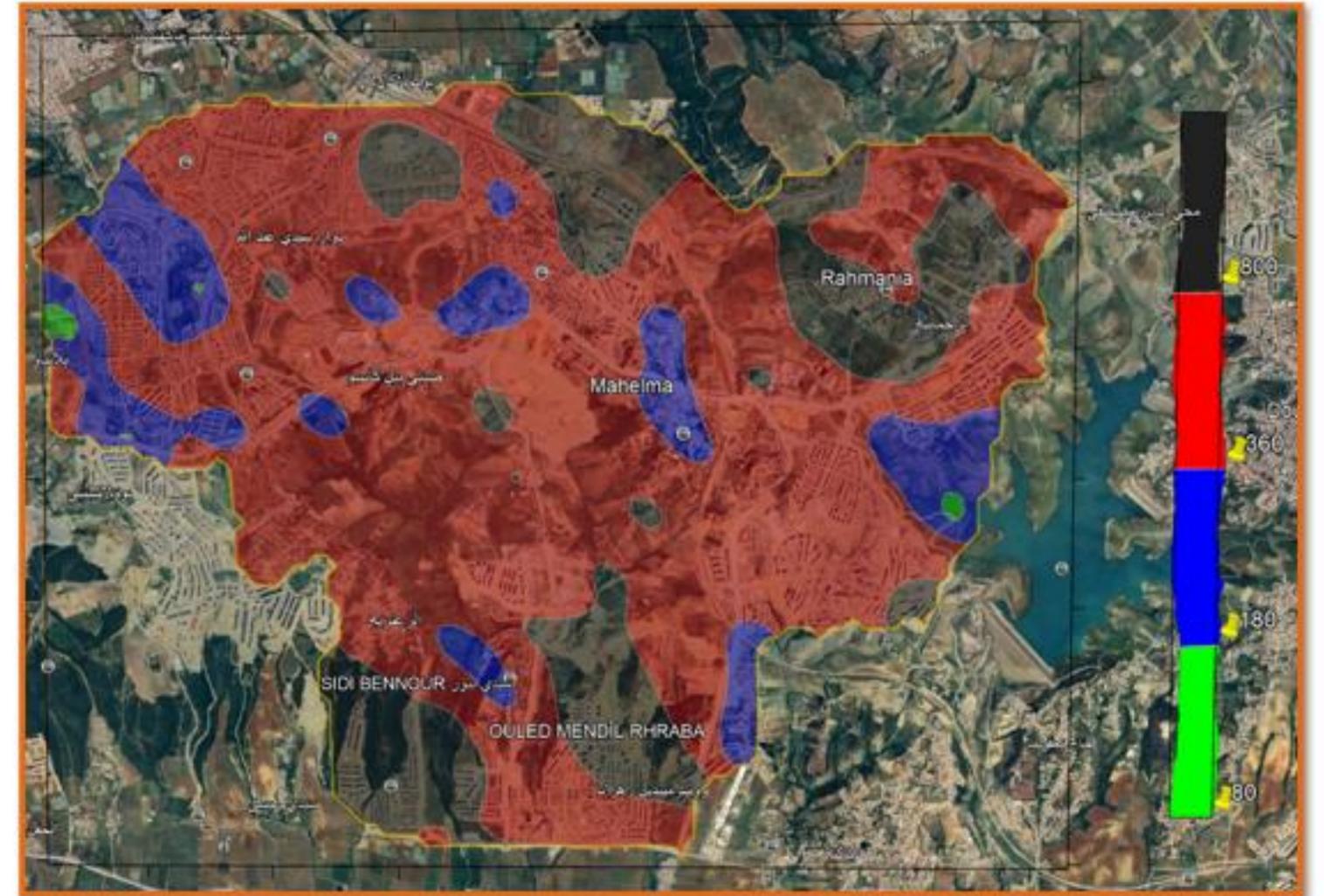
Carte des Points de Mesure

CAMPAGNE DE MESURE et RÉSULTATS

CONFRONTATION DES RÉSULTATS



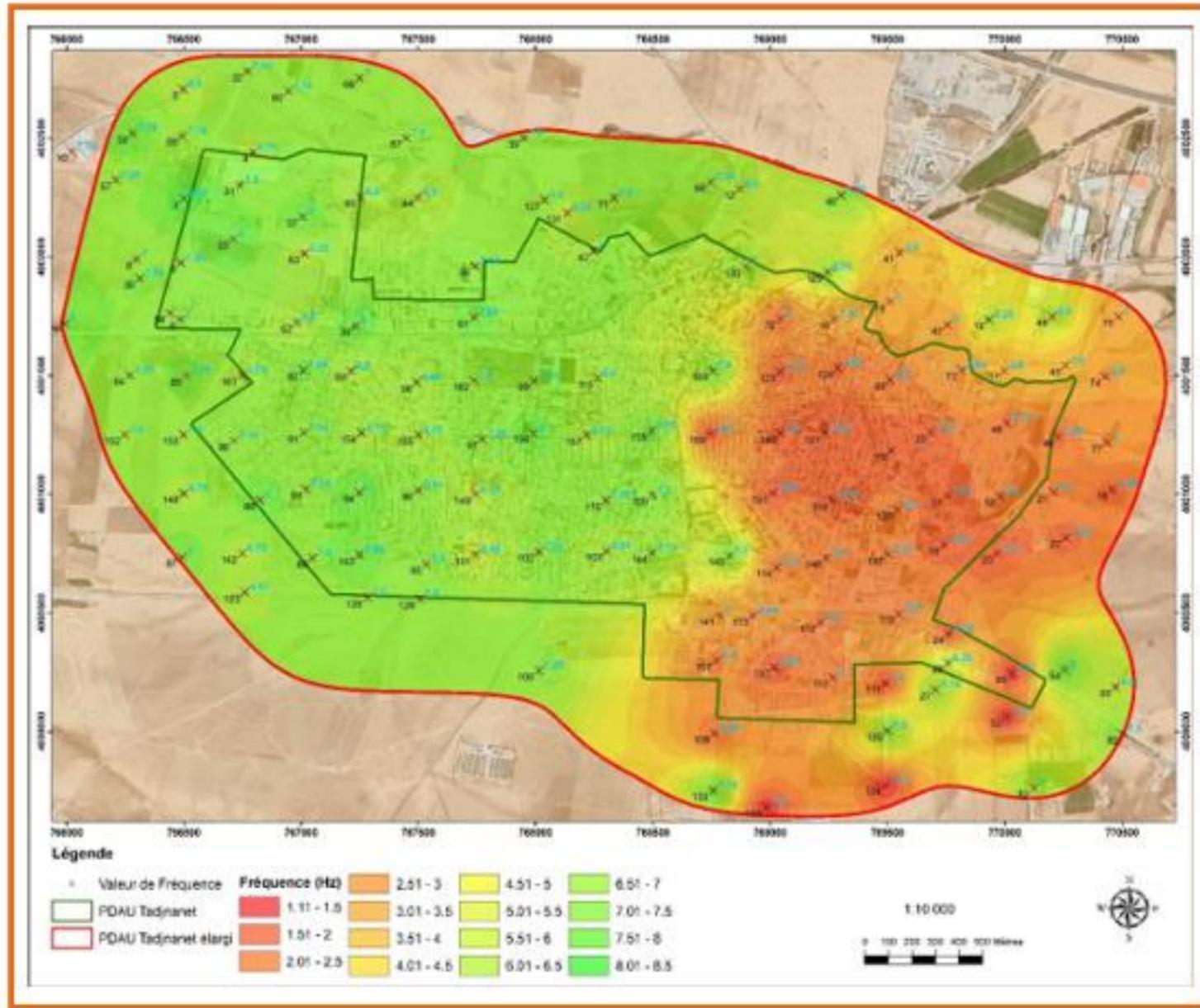
Carte des fréquences



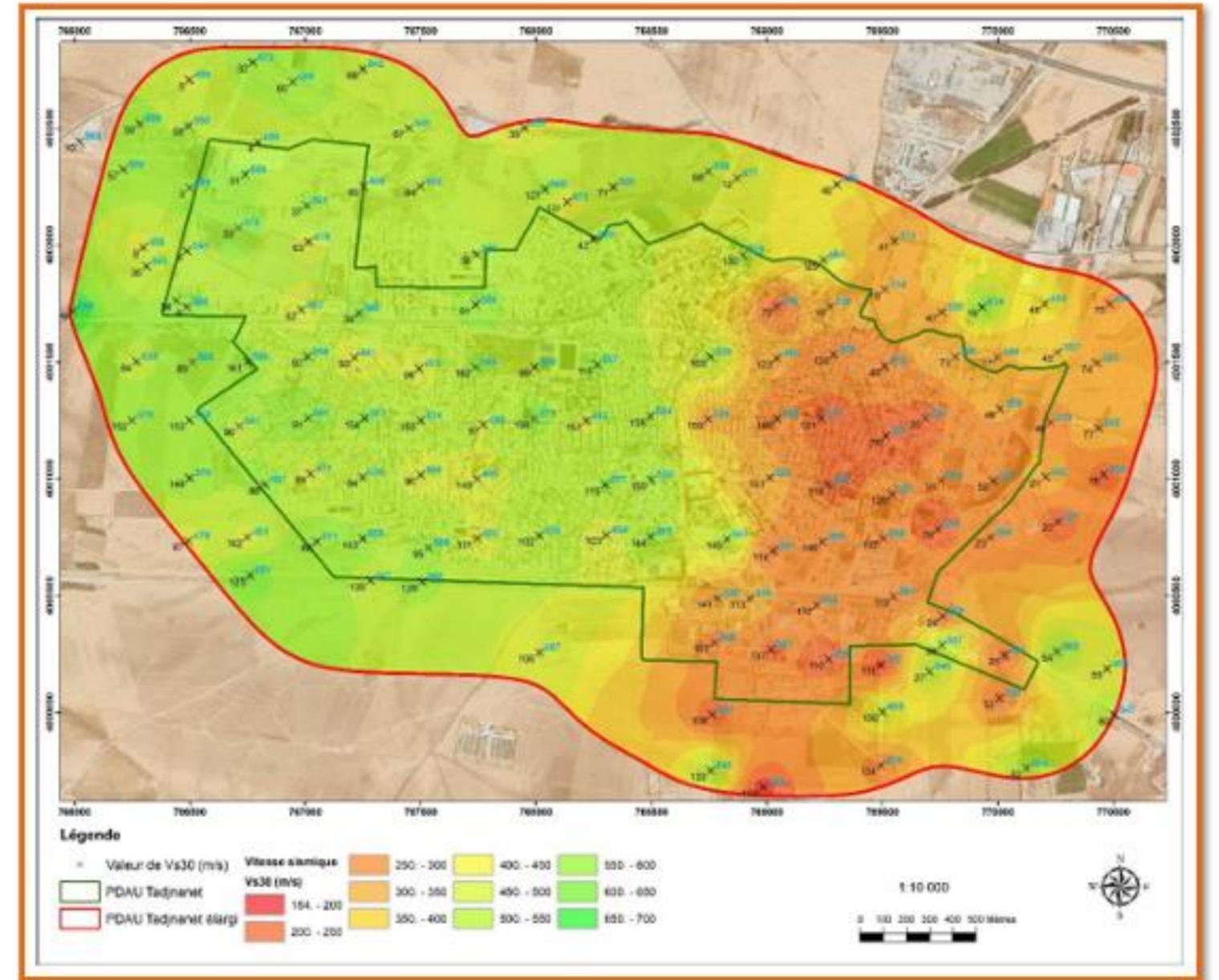
Carte des vitesses

MICROZONAGE SISMIQUE DE LA VILLE NOUVELLE DE SIDI ABDELLAH

CAMPAGNE DE MESURE et RÉSULTATS



Carte des fréquences

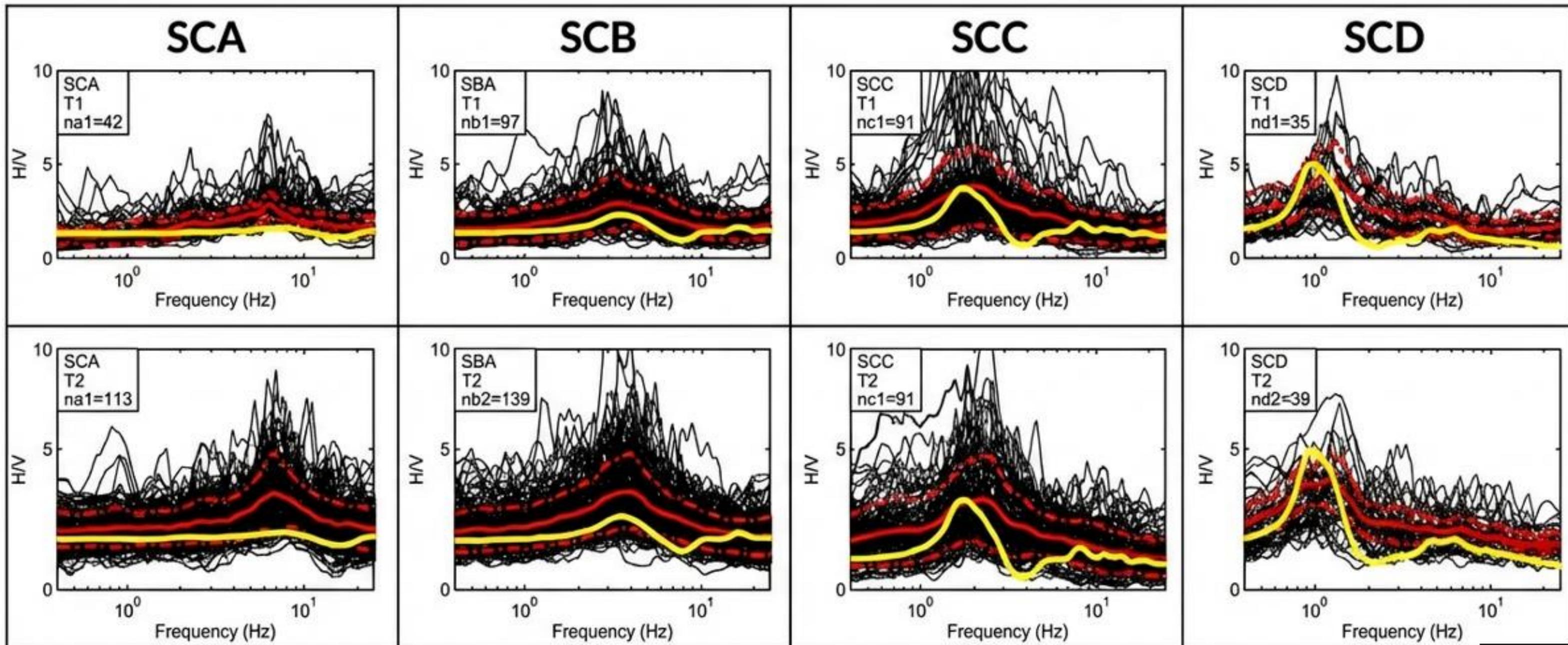


Carte des vitesses

MICROZONAGE SISMIQUE DE LA VILLE DE MILA

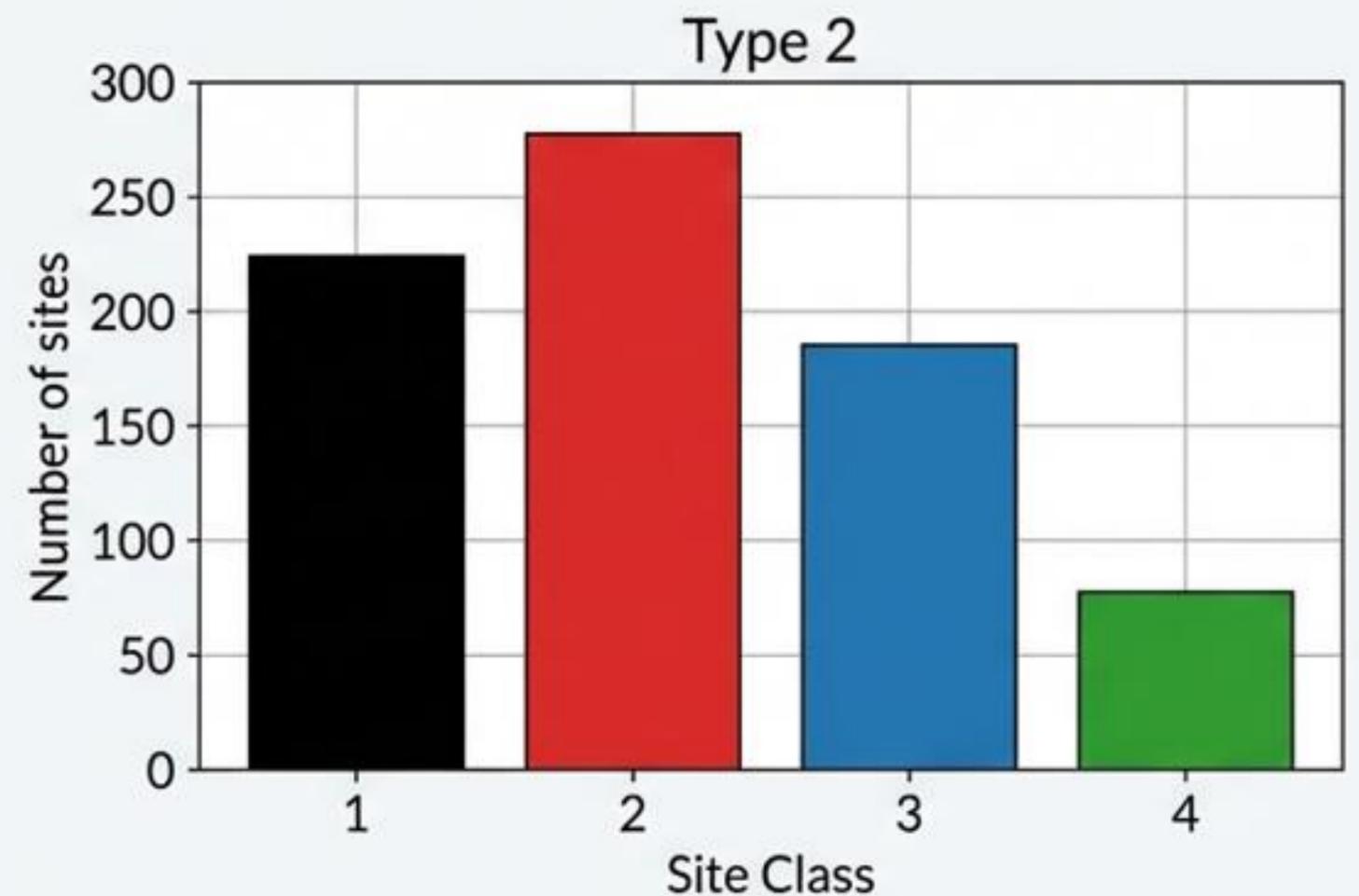
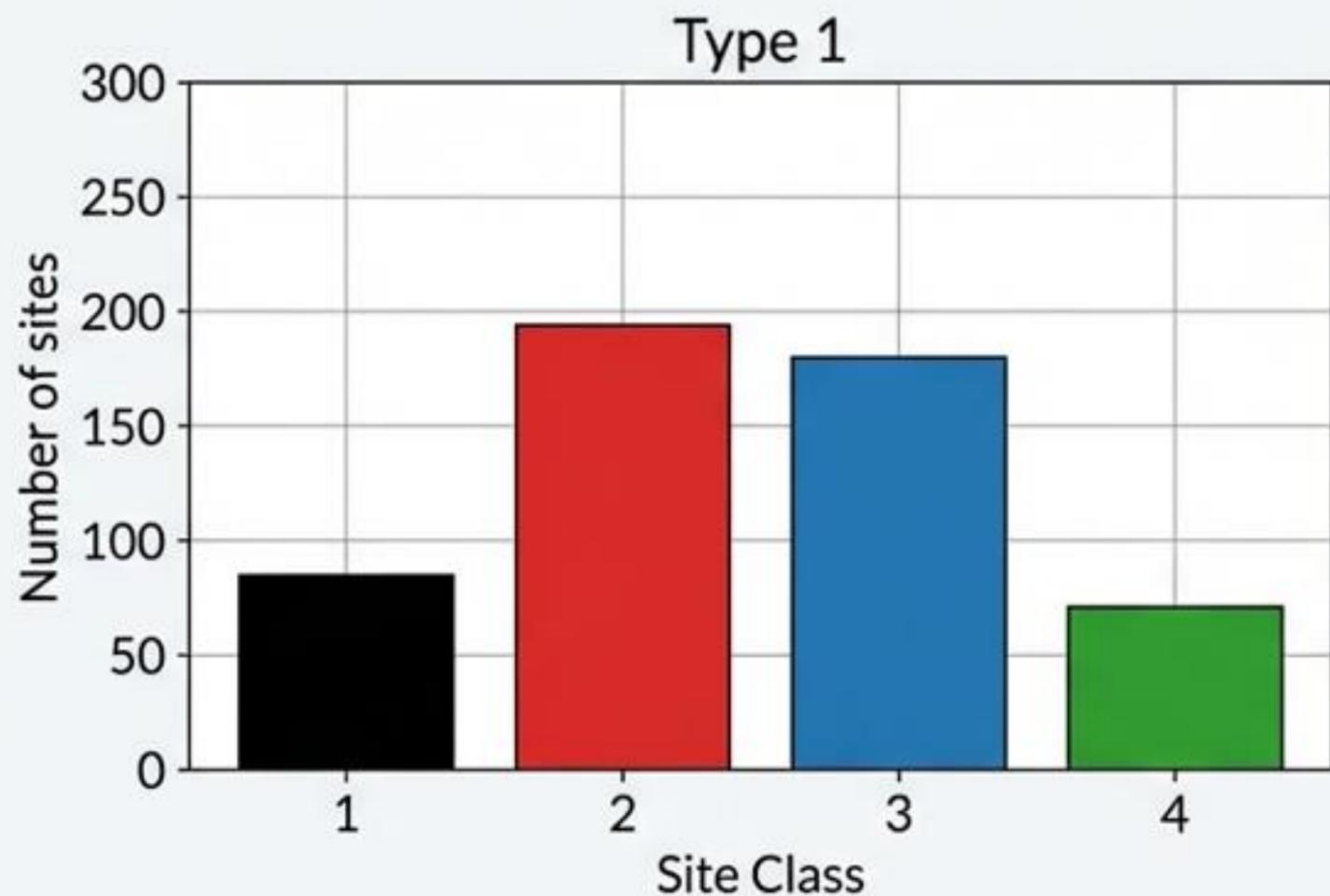
VALIDATION DU MODÈLE SUR LA BASE DE DONNÉES

Comparaison : Enregistrements Réels (Noir) vs Modèle Théorique (Jaune)



ANALYSE DE LA BASE DE DONNÉES SISMIQUES

- **Type 1 ($M > 5.5$)** : Séismes majeurs (basses fréquences).
- **Type 2 ($M \leq 5.5$)** : Sismicité modérée (hautes fréquences).
- **Filtrage** : 18% de rejet (enregistrements non coriélés/non considérés).



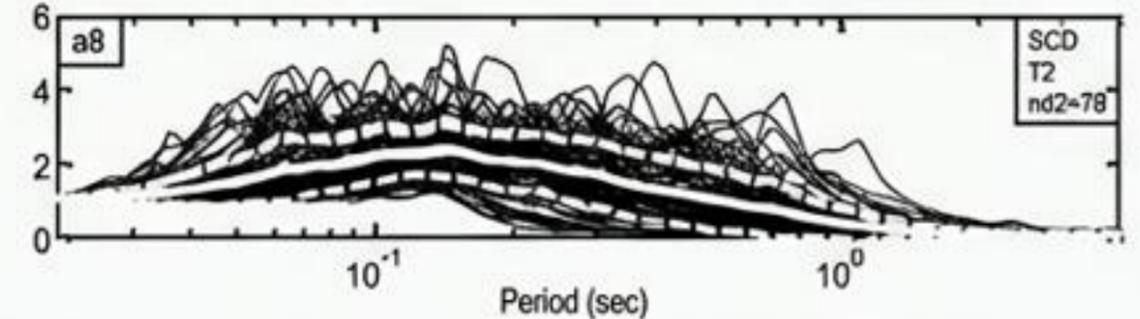
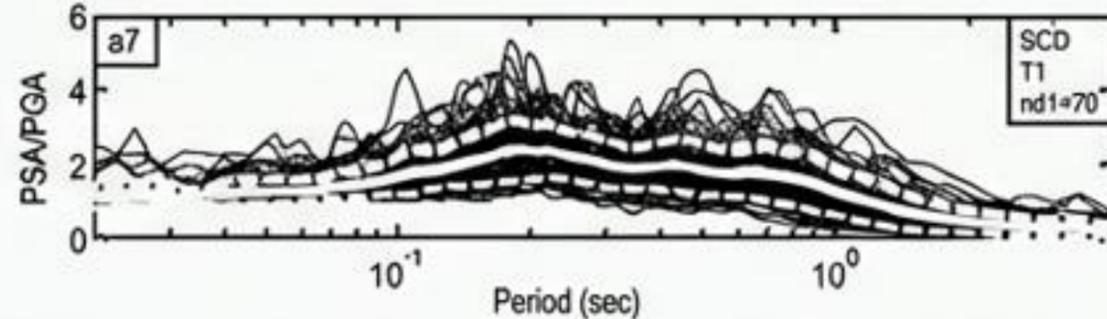
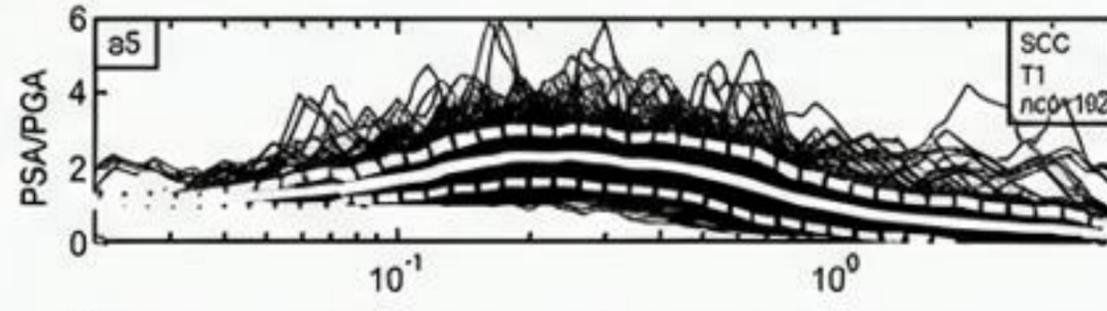
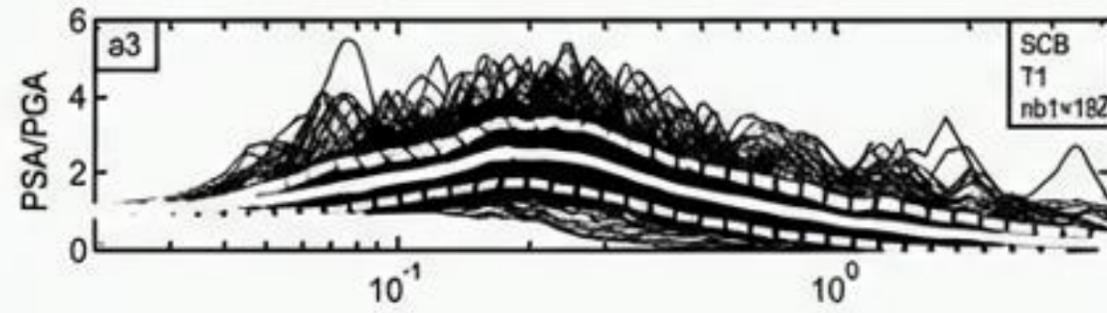
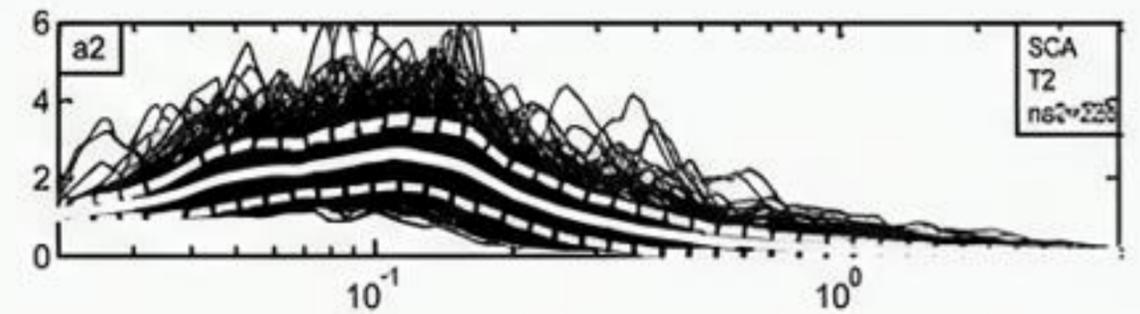
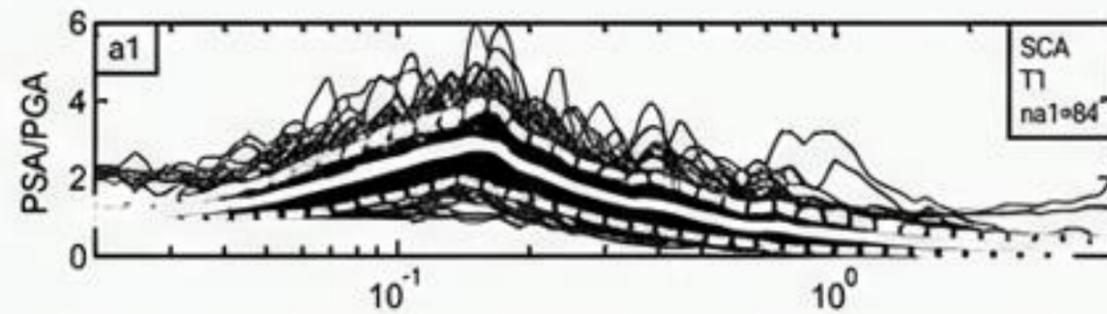
NORMALISATION DES SPECTRES D'ACCÉLÉRATION

Méthode :

- Normalisation à $PGA = 1$ ($T=0$).

Traitement Statistique :

- Ligne Blanche Continue : Moyenne Géométrique.
- Lignes Pointillées : Percentiles 16% et 84% ($\pm 1 \sigma$).



DÉFINITION DE L'AMPLITUDE DU PLATEAU (β)

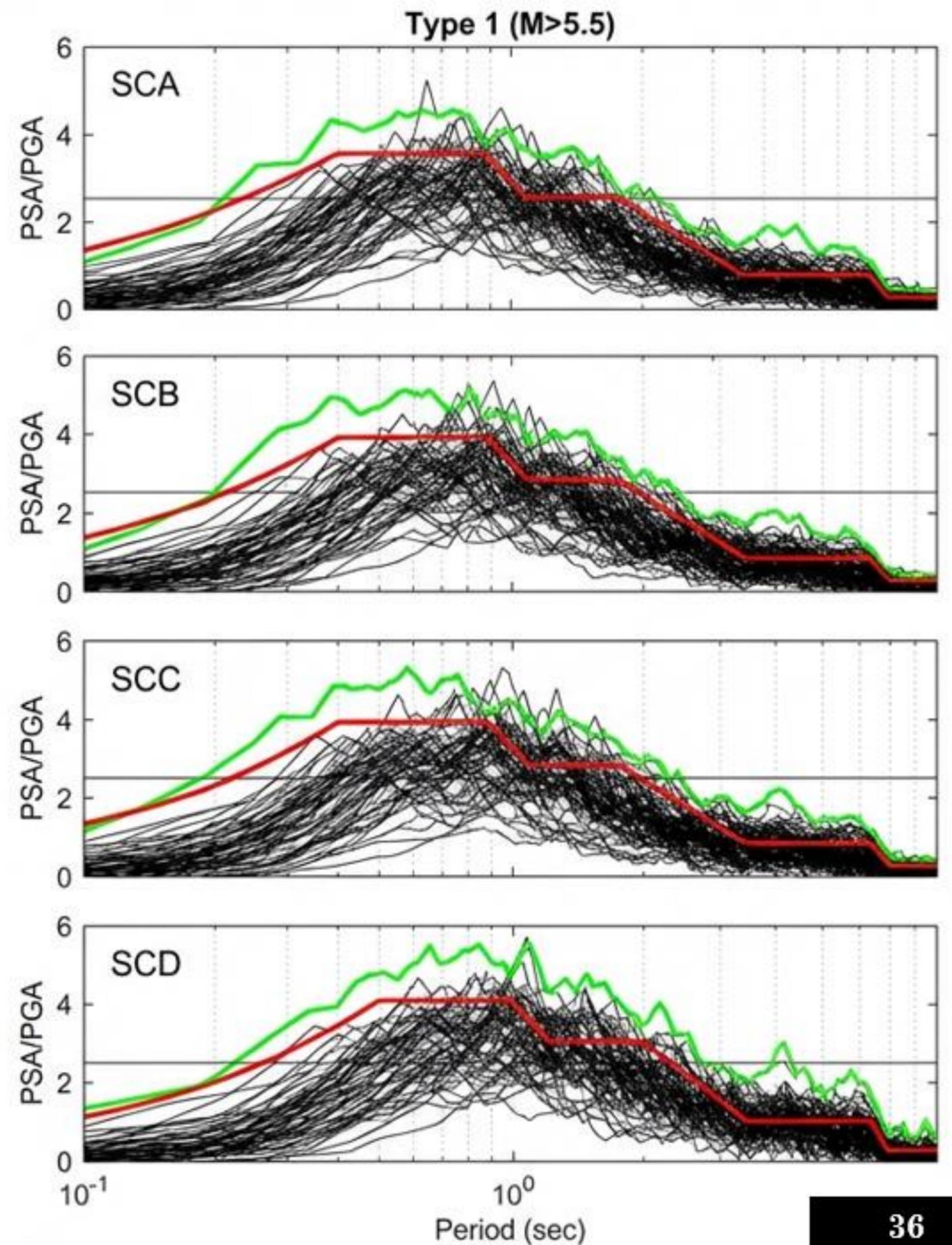
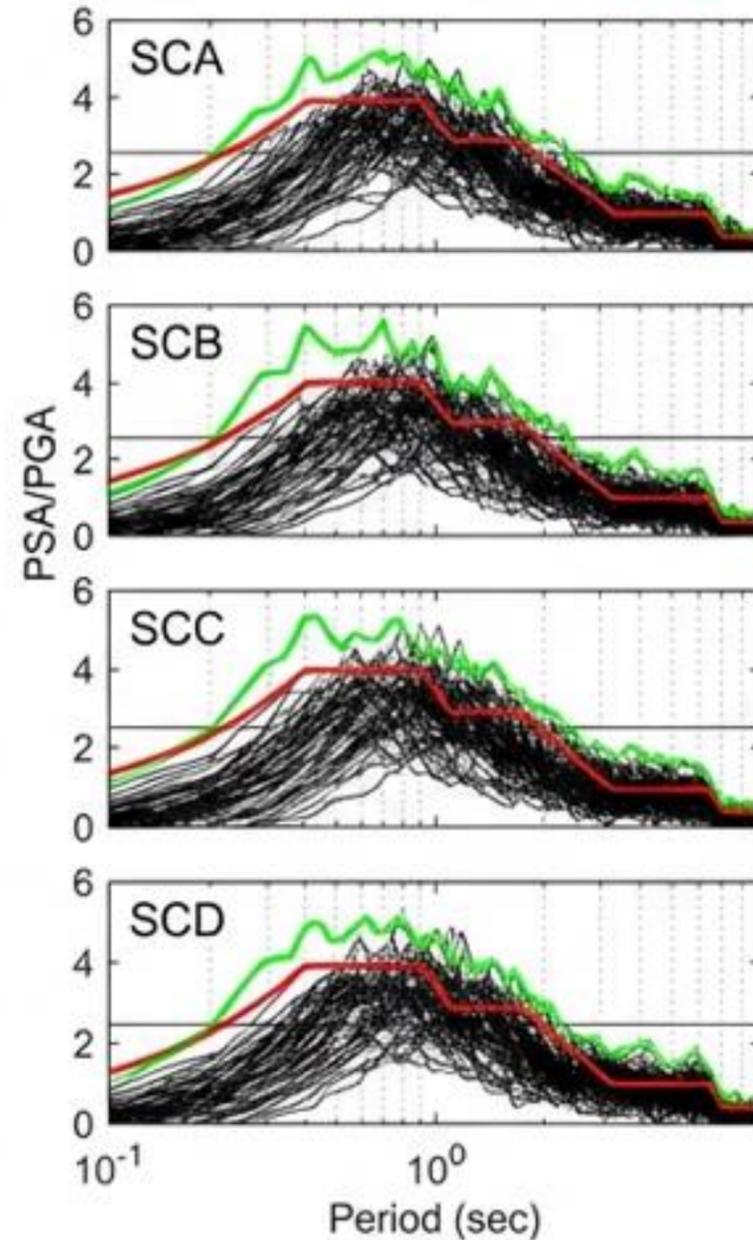
Le niveau maximal du plateau spectral varie selon la rigidité du sol. Les sols rocheux (SCA) présentent les pics les plus élevés, tandis que les sols meubles (SCC/SCD) sont plus plats.

Décision Réglementaire : Adoption d'une valeur moyenne unique.

Soil classes	SCA		SCB		SCC		SCD		Average β
Seismicity types	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	
Maximal amplitude of the average plateau level (β)	2.8	2.66	2.57	2.34	2.33	2.47	2.40	2.43	2.5

LISSAGE ET PARAMÉTRAGE : DE LA STATISTIQUE À LA NORME

Ajustement de l'enveloppe du 84^e percentile (Vert) par le spectre réglementaire (Rouge)



COMPARAISON DES PÉRIODES CARACTÉRISTIQUES (T_B , T_C)

Soil Class	Magnitude	This Study (T_B / T_C)		EC8 (T_B / T_C)		RPA99 (T_B / T_C)	
A	Type 1	0.10	0.40	0.15	0.40	0.15	0.30
	Type 2	0.05	0.25	0.05	0.25		
B	Type 1	0.10	0.50	0.15	0.50	0.15	0.40
	Type 2	0.05	0.30	0.05	0.25		
C	Type 1	0.15	0.60	0.20	0.60	0.15	0.50
	Type 2	0.10	0.40	0.10	0.25		
D	Type 1	0.15	0.70	0.20	0.80	0.15	0.70
	Type 2	0.10	0.50	0.10	0.30		

MÉTHODOLOGIE DE CALCUL DU FACTEUR D'AMPLIFICATION (S)

Principe : Le facteur S mesure l'amplification globale par rapport au rocher (SCA = 1.0).

Méthode : Basée sur l'Intensité Spectrale de Housner (SI).

$$S = \frac{SI_{sol}}{SI_{rocher}}$$

$$SI = \int_{0.1}^{2.5} PSV(T, \xi) dT$$

where *PSV* is the Pseudo-Spectral Velocity.

CORRECTION DE FORME SPECTRALE (SR)

Les spectres des sols meubles se décalent vers les longues périodes. Ce changement de forme contribue artificiellement à l'amplification.

Solution : Normalisation par le Ratio de Forme Spectrale (SR).

$$S_{final} = S_{brut} / SR$$

$$SR_B = \frac{\int_{0.05}^{2.5} S_e^B(T)}{\int_{0.05}^{2.5} S_e^A(T)}$$

$$SR_C = \frac{\int_{0.05}^{2.5} S_e^C(T)}{\int_{0.05}^{2.5} S_e^A(T)}$$

$$SR_D = \frac{\int_{0.05}^{2.5} S_e^D(T)}{\int_{0.05}^{2.5} S_e^A(T)}$$

Soil Class	Type 2 (M≤5.5)		Type 1 (M>5.5)	
	This work	EC-8 [2]	This work	EC-8 [2]
SCB	1.14	1.00	1.17	1.16
SCC	1.37	0.99	1.32	1.29
SCD	1.59	1.13	1.46	1.53

FACTEURS DE SITE FINAUX (S) : RECOMMANDATIONS

Seismicity category	Soil Class	This Study (Average)	Recommended	Pitilakis et al. [22]	Pitilakis et al. [20]*	EC-8 [2]
Type 1 M>5.5	SCA	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	SCB	1.21	1.20	1.30	1.1 -1.3 (1.20)	1.20
	SCC	1.41	1.40	1.70	1.7 -1.3 -1.3 (1.43)	1.15
	SCD	1.38	1.35	1.35	1.8	1.35
Type 2 M<5.5	SCA	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	SCB	1.34	1.35	1.40	1.2-1.5 (1.35)	1.35
	SCC SCD	1.65	1.65	2.10	1.8 -1.7 -2.1 (1.86)	1.50

Spectres de Réponse Élastique Verticale : Comparaison et Paramètres

Paramètres Spectraux (Cette Étude, EC8, Yang et al.)

Classe de Sol	Classe de Magnitude	Cette étude (T_B, T_C)		EC8		Yang et al. (T_B, T_C)	
		T_B	T_C	T_B	T_C	T_B	T_C
SCA	Type 1	0.04	0.21	0.05	0.15	-	-
	Type 2	0.032	0.17	0.05	0.15	-	-
SCB	Type 1	0.056	0.32	0.05	0.15	0.05	0.31
	Type 2	0.032	0.20	0.05	0.15	0.046	0.18
	Type 1	0.059	0.40	0.05	0.15	0.046	0.50
SCC	Type 1	0.036	0.24	0.05	0.15	0.046	0.30
	Type 2	0.036	0.24	0.05	0.15	0.046	0.30
SCD	Type 1	0.07	0.50	0.05	0.15	0.05	0.60
	Type 2	0.046	0.30	0.05	0.15	0.046	0.33

Relations Empiriques de Yang et al. (KiK-net, Japon)

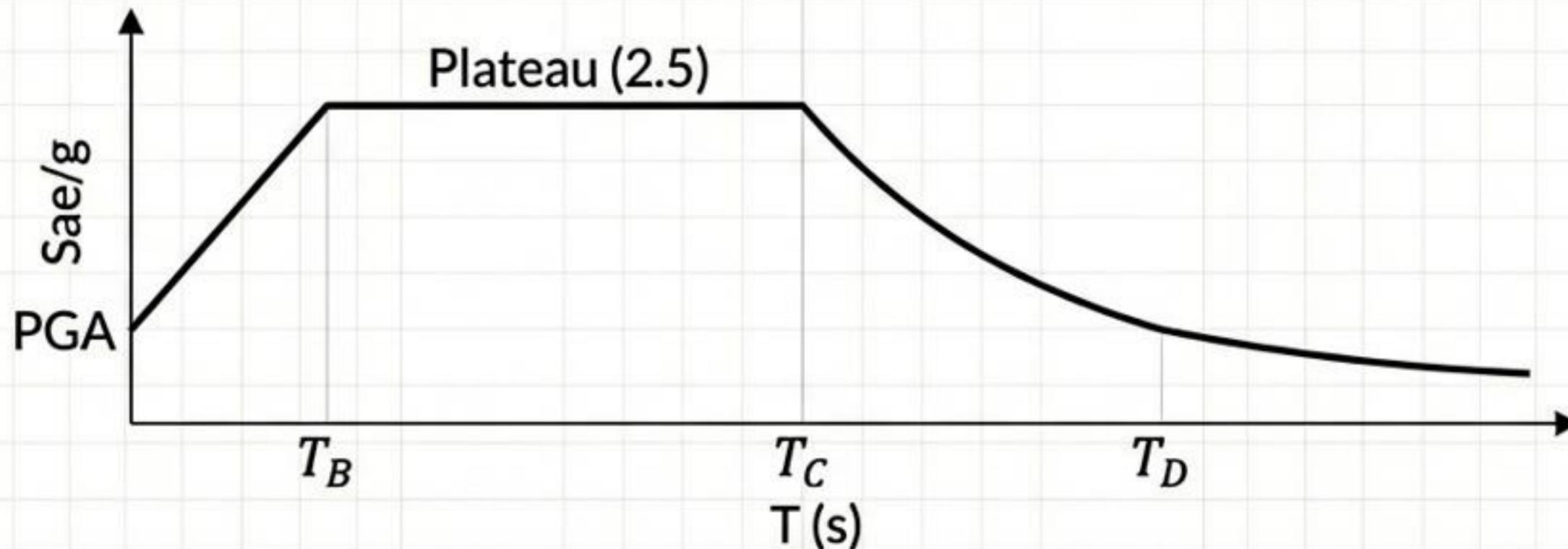
On considère les travaux de Yang et al. sur les propriétés des spectres élastiques verticaux développés au Japon à partir de la base de données KiK-net (10 000 enregistrements). Les relations empiriques entre la période T_C et la magnitude du moment (M_w), pour différents sites, sont données par :

$$T_C = \begin{cases} 0.0851M_w - 0.2904 & \text{pour SCB} \\ 0.1299M_w - 0.4119 & \text{pour SCC} \\ 0.1772M_w - 0.6403 & \text{pour SCD} \end{cases}$$

M_w	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0
Soil Class	Periode T_C (sec)					
SCB	0.09	0.13	0.28	0.27	0.26	0.31
SCC	0.17	0.24	0.30	0.37	0.43	0.50
SCD	0.16	0.25	0.33	0.42	0.51	0.60

ÉQUATIONS FINALES DU SPECTRE DE RÉPONSE ÉLASTIQUE

$$S_e(T) = \begin{cases} a_g S \left[1 + \frac{T}{T_B} (\beta\eta - 1) \right] & 0 \leq T \leq T_B \\ \beta a_g S \eta & T_B \leq T \leq T_C \\ \beta a_g S \eta \left[\frac{T_C}{T} \right]^\alpha & T_C \leq T \leq T_D \\ \beta a_g S \eta \left[\frac{T_C T_D}{T^2} \right]^\alpha & T_D \leq T \leq 4s \end{cases}$$



Spectres de Réponse Verticale, Atténuation et Rapport V/H

Paramètres Spectraux et Modèle de Yang et al.

		Cette étude		EC-8 [2]		Yang et al. [25]*	
Classe de Sol	Classe de Magnitude	T_B	T_C	T_B	T_C	T_B	T_C
SCA	Type 1	0.04	0.21	0.05	0.15	-	-
	Type 2	0.032	0.17	0.05	0.15	-	-
SCB	Type 1	0.056	0.32	0.05	0.15	0.05	0.31
	Type 2	0.032	0.20	0.05	0.15	0.046	0.18
SCC	Type 1	0.059	0.40	0.05	0.15	0.05	0.50
	Type 2	0.036	0.24	0.05	0.15	0.046	0.30
SCD	Type 1	0.07	0.50	0.05	0.15	0.05	0.60
	Type 2	0.046	0.30	0.05	0.15	0.046	0.33

On considère les travaux de Yang et al. sur les propriétés des spectres élastiques verticaux développés au Japon à partir de la base de données KiK-net (10 000 enregistrements). Les relations empiriques entre la période T_C et la magnitude du moment (M_w), pour différents sites, sont données par :

$$T_C = \begin{cases} 0.0851M_w - 0.2904 & \text{pour SCB} \\ 0.1299M_w - 0.4119 & \text{pour SCC} \\ 0.1772M_w - 0.6403 & \text{pour SCD} \end{cases}$$

M_w	4.5	5.0	6.0	6.5	7.0
Soil Class	Période T_C (sec)				
SCB	0.09	0.13	0.22	0.26	0.31
SCC	0.17	0.24	0.37	0.43	0.50
SCD	0.16	0.25	0.33	0.51	0.60

Influence de l'Indice d'Atténuation α

L'influence du type de sismicité sur l'indice d'atténuation α est étudiée.

Le code sismique américain (ASCE) propose une valeur de 0.7 et considère une valeur de 1.

L'indice d'atténuation α est donné par : $\alpha = \frac{\ln(SA_{V1}/SA_{VS})}{\ln(T_C)}$

		Type 1 (M>5.5)				Type 2 (M<5.5)			
Paramètres		TB	TC	α	S	TB	TC	α	S
Horizontal	SCA	0.10	0.40	1	1	0.05	0.25	1	1
	SCB	0.10	0.50	1	1.20	0.05	0.30	1	1.35
	SCC	0.15	0.60	1	1.45	0.10	0.40	1	1.65
	SCD	0.15	0.70	1	1.40	0.10	0.50	1	1.90
Vertical	SCA	0.05	0.20	0.6	1	0.05	0.15	0.8	1
	SCB	0.05	0.30	0.6	1	0.05	0.20	0.8	1
	SCC	0.05	0.40	0.6	1	0.05	0.25	0.8	1
	SCD	0.05	0.50	0.6	1	0.05	0.30	0.8	1

Rapport d'Accélération V/H

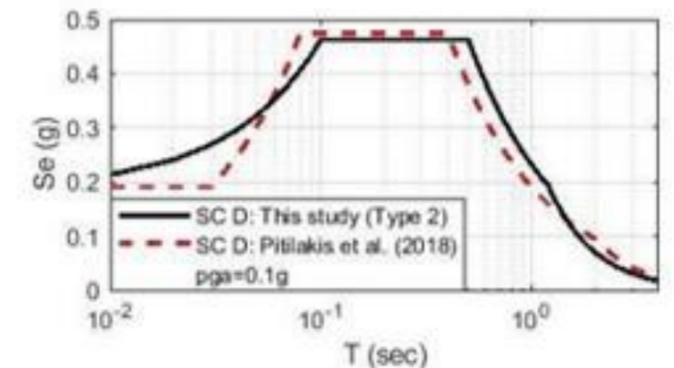
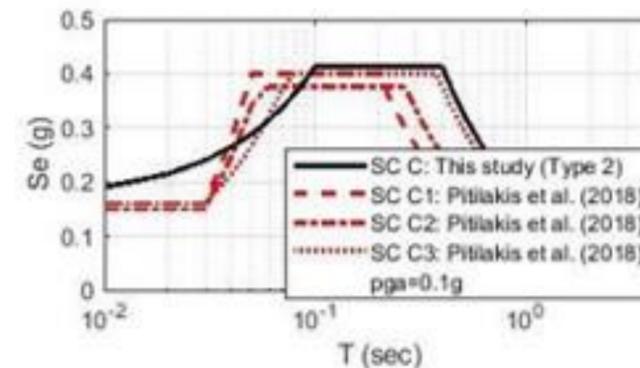
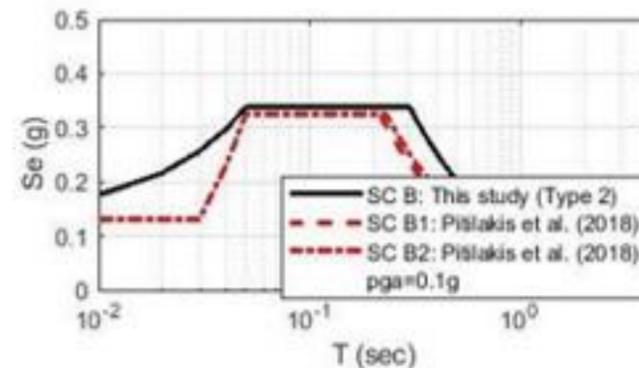
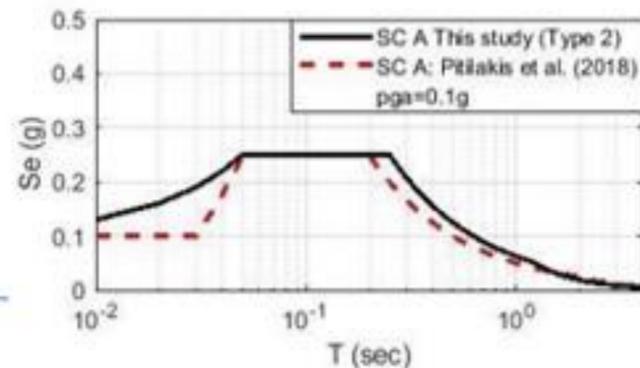
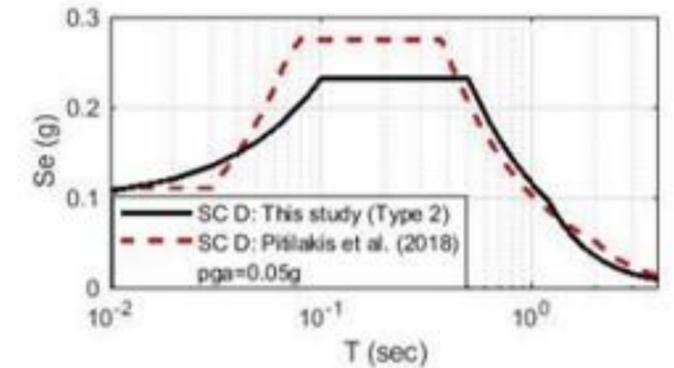
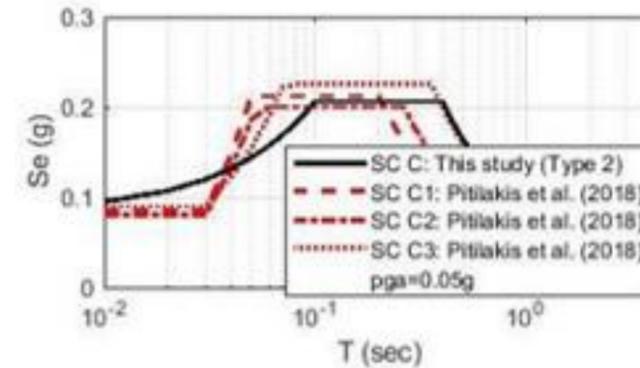
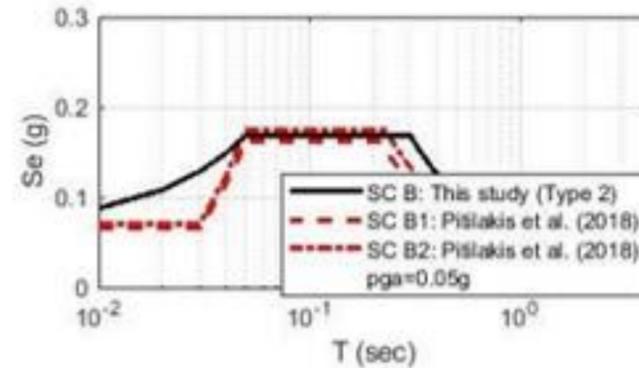
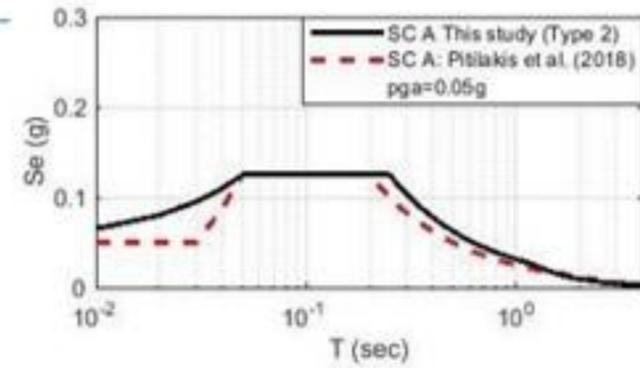
Classe de Sismicité	$SF_{V/H}$	EC-8 [2]	Valeurs Recommandées
Type1	0.92	0.90	0.90
Type2	0.54	0.45	0.55

Ces rapports ont été adoptés

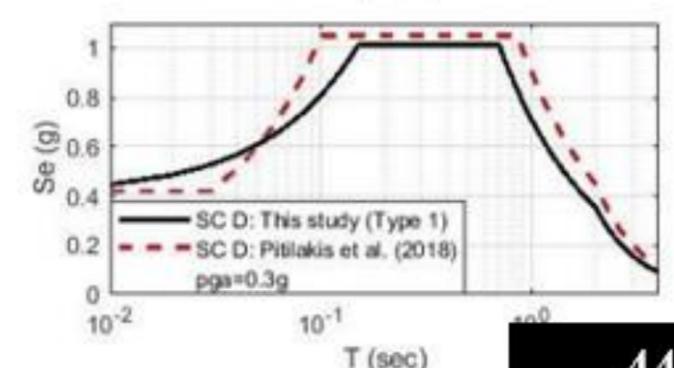
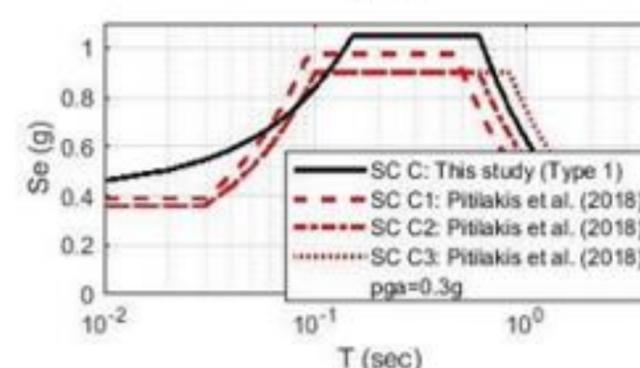
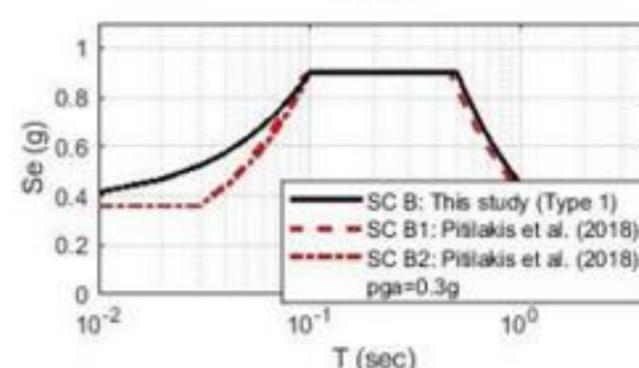
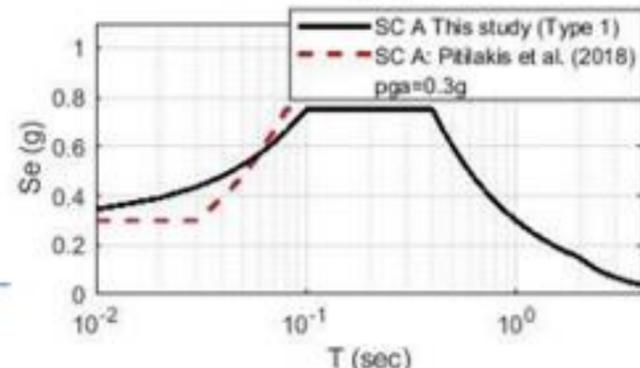
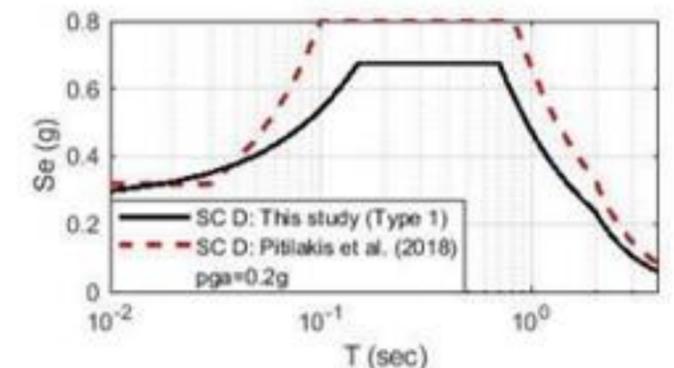
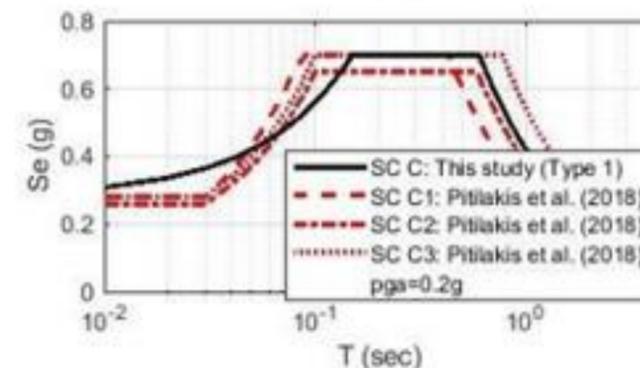
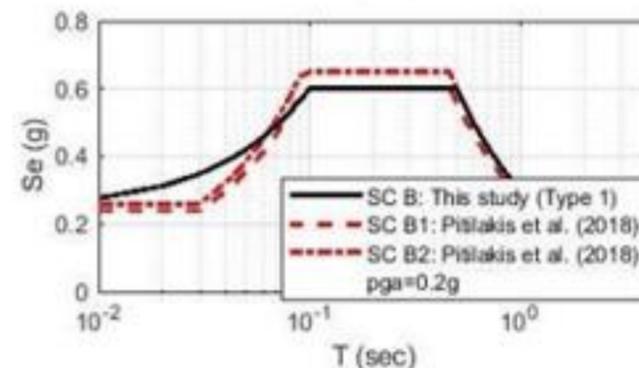
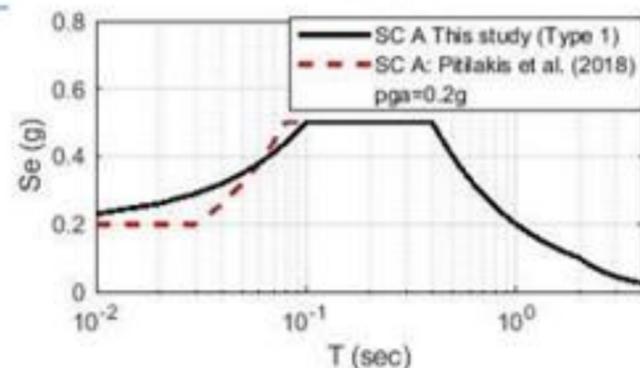
Comparison

RPA2024 vs Codes Internationaux (EC8 Draft 2026)

Type 2



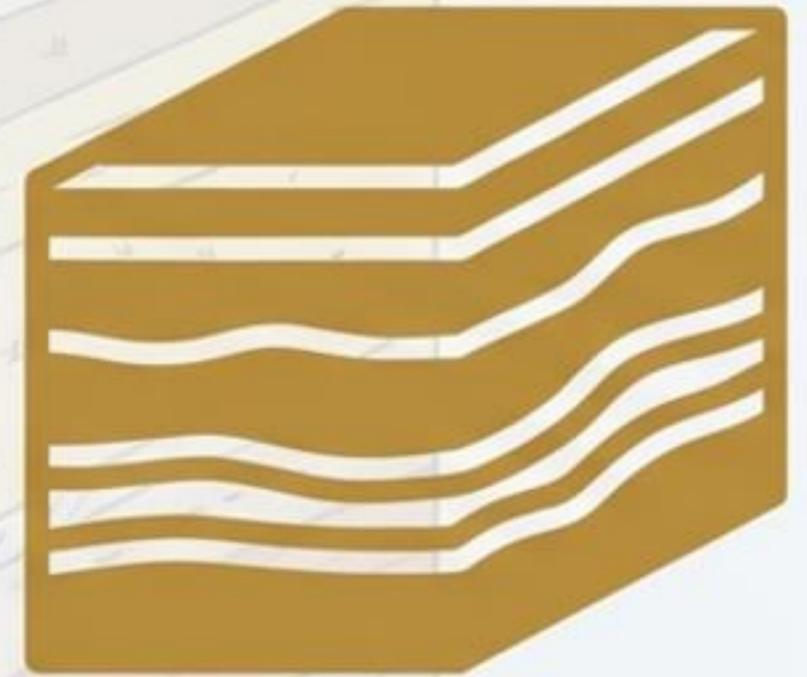
Type 1



Étape 2 : Caractériser le Site

- La Classification des Sols

- Les propriétés du sol local peuvent amplifier ou atténuer de manière significative les ondes sismiques.
- Le RPA 2024 définit **5 catégories de sites (S1, S2, S3, S4, et SS)** basées sur les propriétés mécaniques des 30 premiers mètres de sol.
- Cette classification est indispensable pour ajuster l'action sismique aux conditions locales spécifiques du projet.



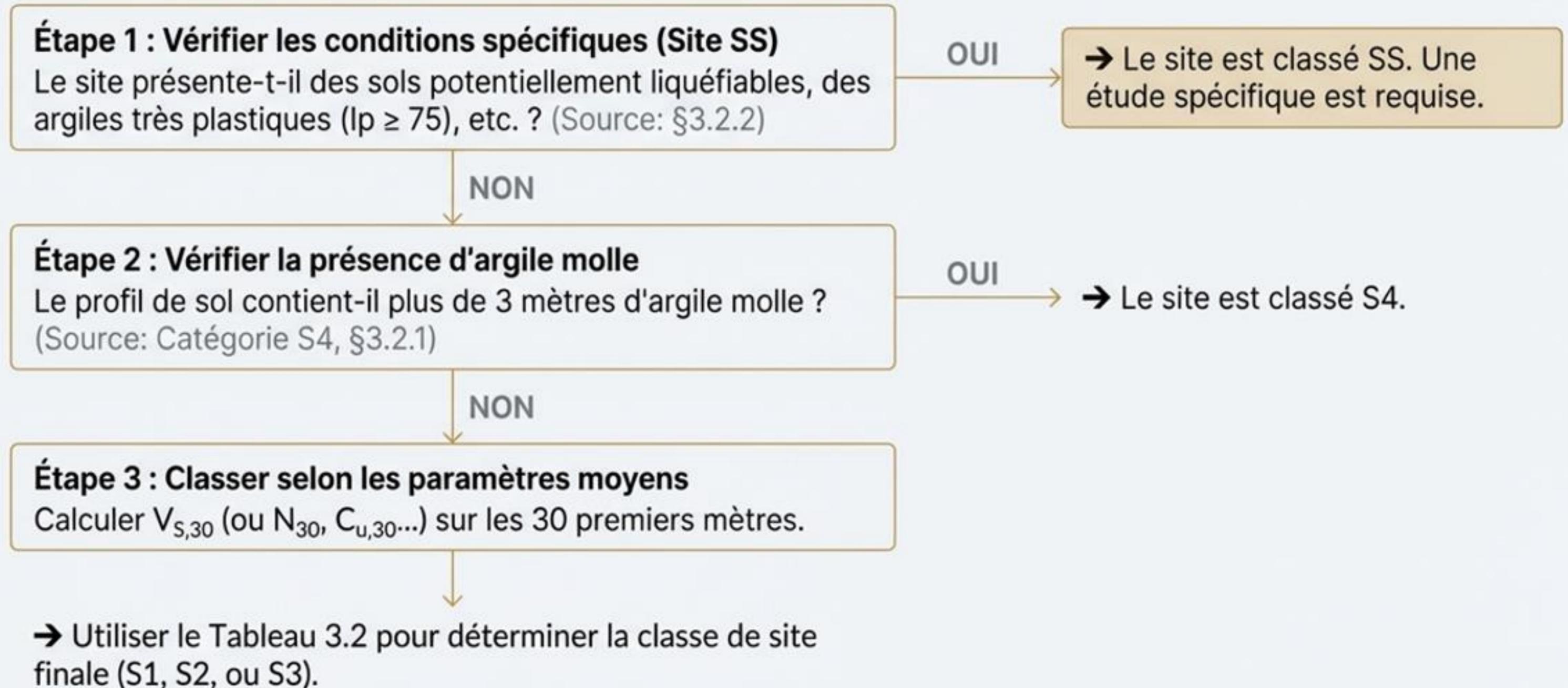
Critères de Classification des Sites

Le paramètre principal est la vitesse moyenne des ondes de cisaillement, $V_{S,30}$. D'autres paramètres géotechniques peuvent être utilisés en cas d'indisponibilité. (Source: §3.2.1)

Catégorie	Description	$V_{S,30}$ (m/s)	N_{30} (coups)	$C_{u,30}$ (kPa)
S1	Site Rocheux	> 800	/	/
S2	Site Ferme	360 - 800	> 50	> 100
S3	Site Meuble	180 - 360	15 - 50	50 - 100
S4	Site Très Meuble	< 180	< 15	< 50
SS	Site Spécifique	<i>Nécessite des investigations et études spécifiques</i>		

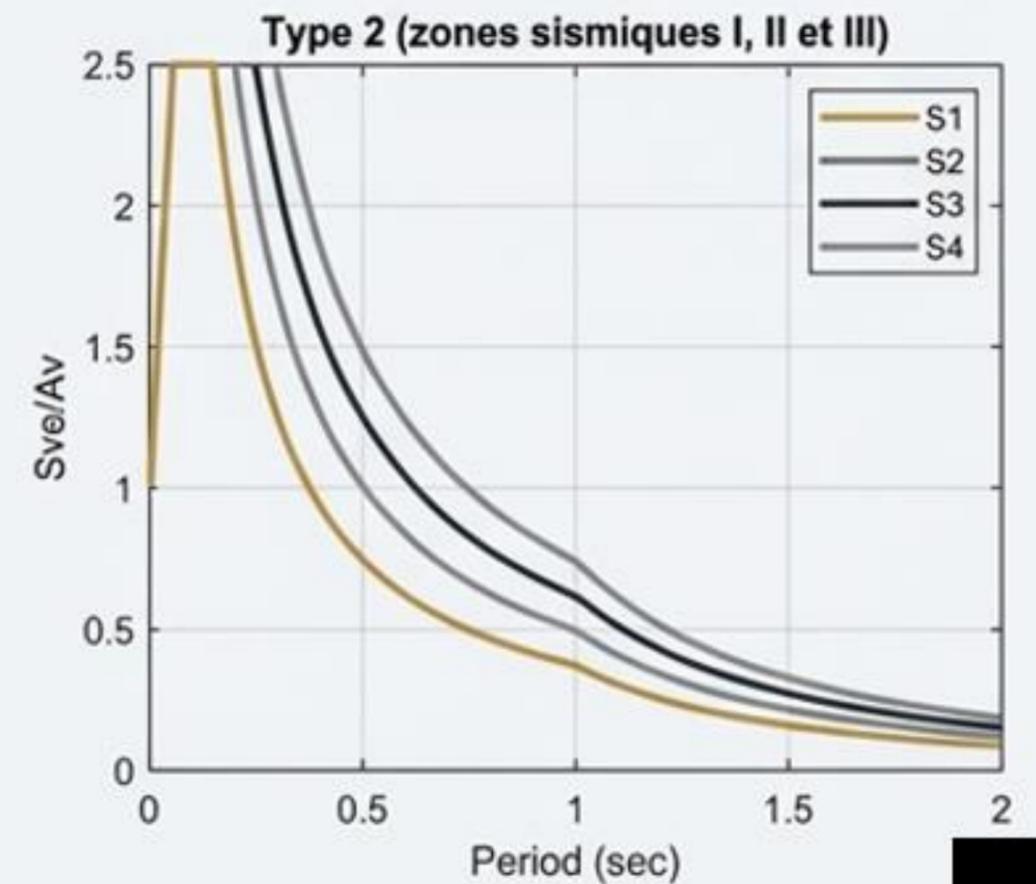
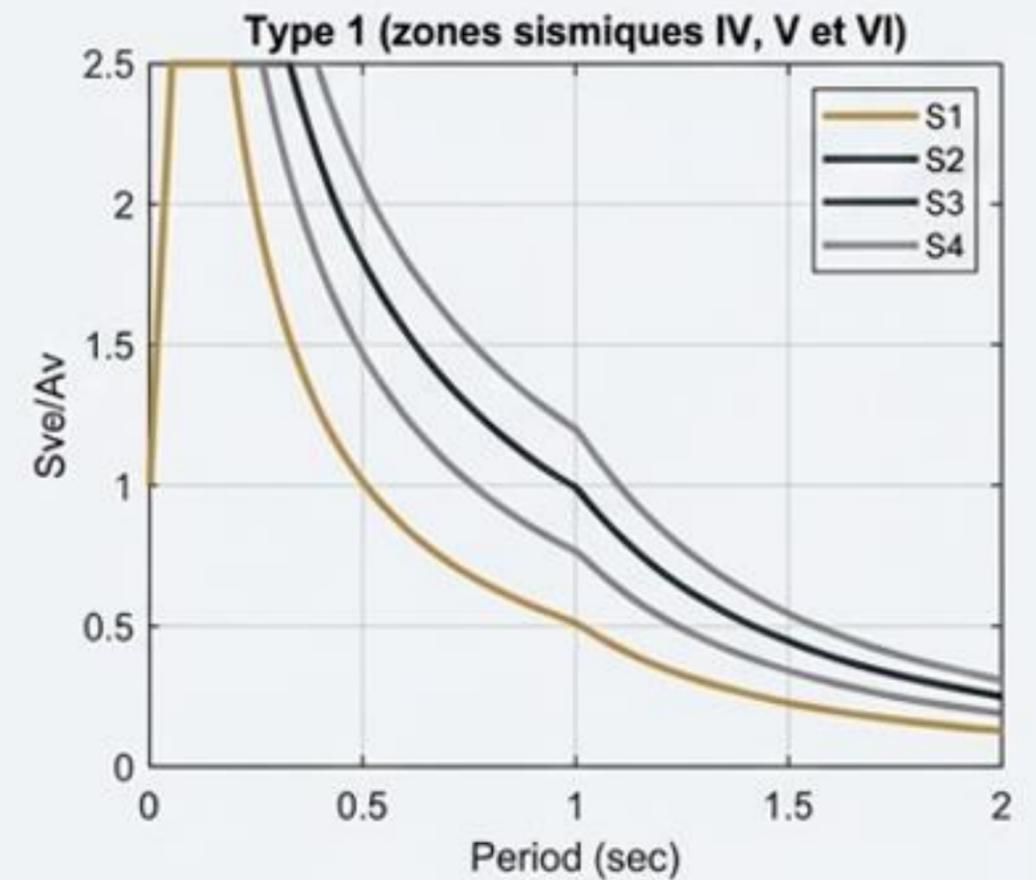
*(Tableau simplifié basé sur le Tableau 3.2, RPA 2024)

Comment Classer un Site : La Démarche en 3 Temps



La Composante Verticale de l'Action Sismique (Sve)

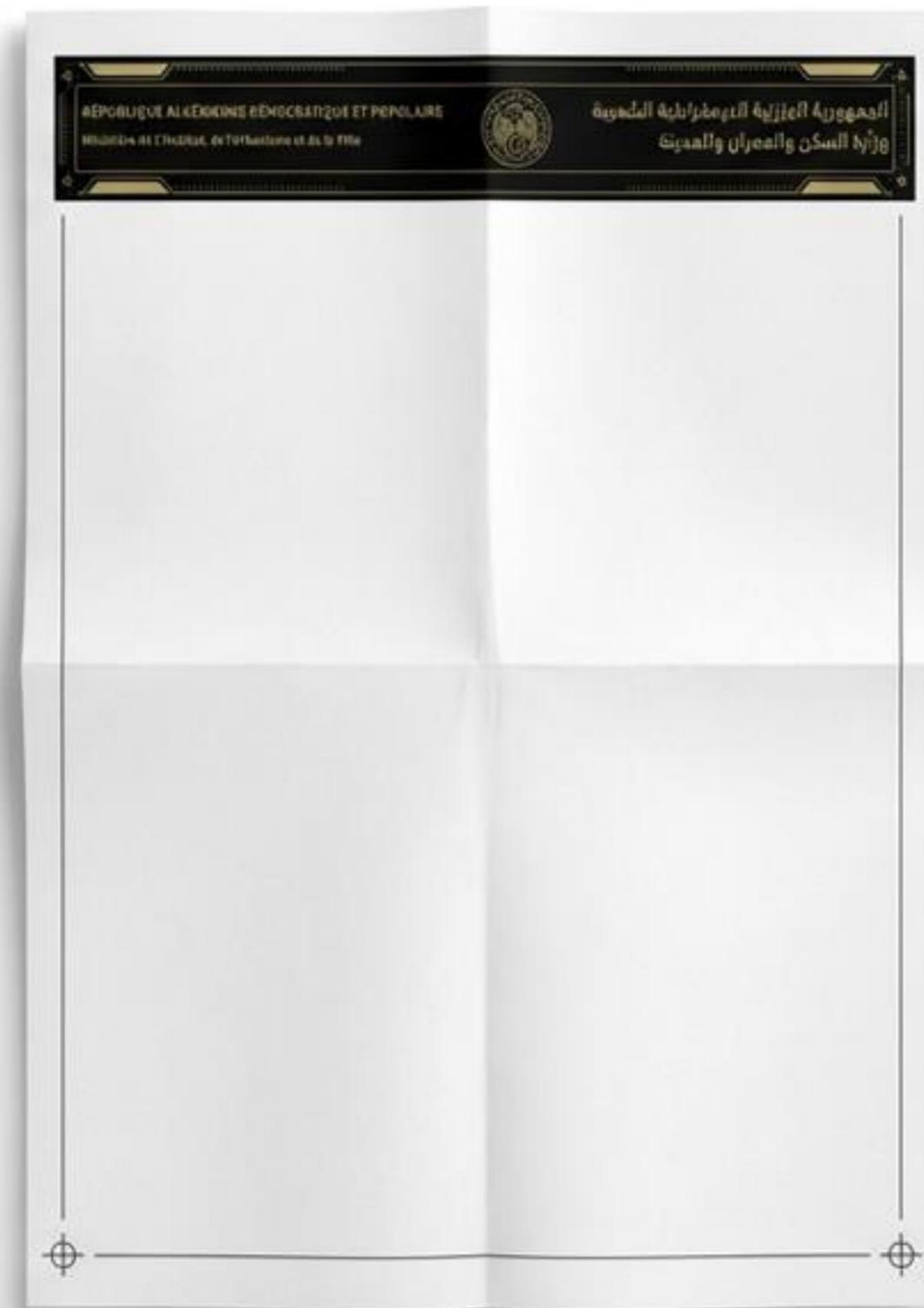
- Le RPA 2024 introduit de manière formelle un spectre de réponse pour la composante verticale du mouvement sismique.
- Son importance est notable pour : les structures à grande portée (>15m), les porte-à-faux (>2m), et les éléments précontraints.
- L'accélération verticale de référence, A_v , est une fraction de l'accélération horizontale A.
 - Spectre Type 1 : $A_v / A = 0.90$
 - Spectre Type 2 : $A_v / A = 0.55$



RPA 2024 : Caractérisation du Site

Comprendre et Appliquer
l'Annexe B (Géotechnique)
et l'Annexe C (Topographie)

Document Technique Réglementaire
D.T.R. - B.C. 2.48



Le Nouveau Cadre Réglementaire (D.T.R-B.C 2.48)

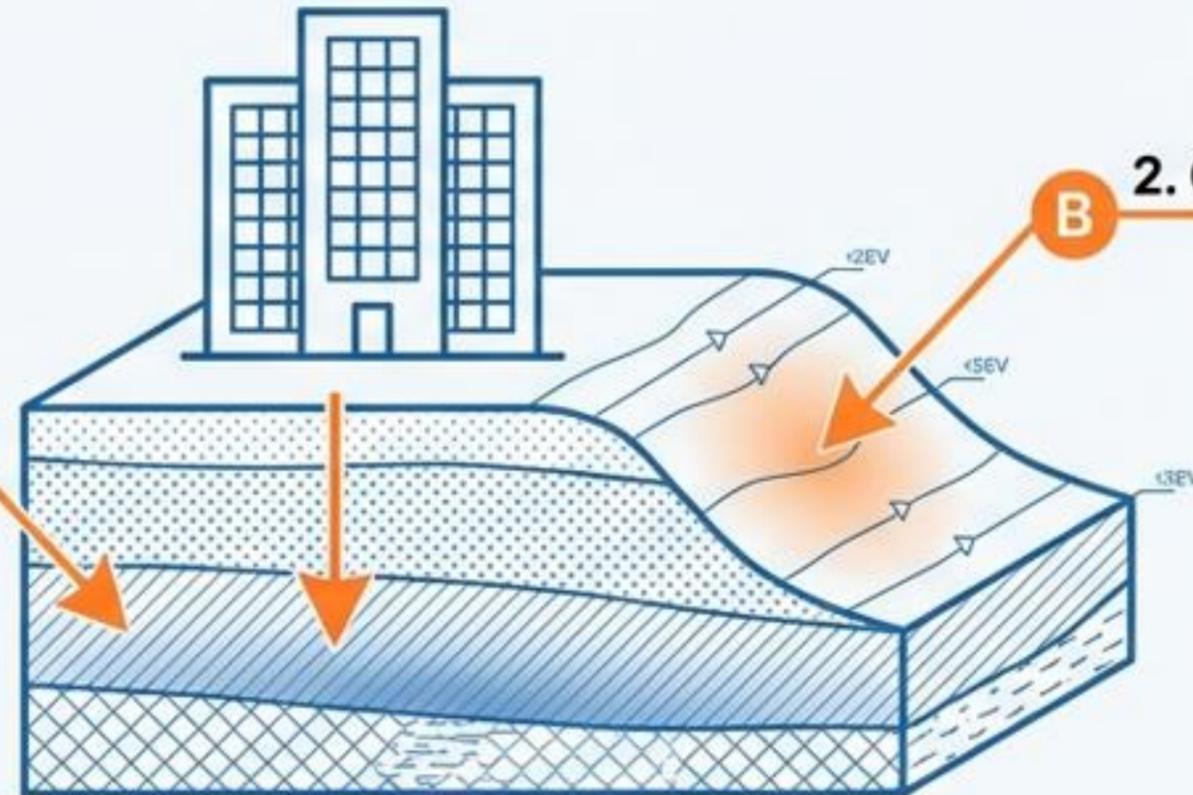
Le RPA 2024 remplace le RPA 99/version 2003.

Il impose une caractérisation plus fine de l'environnement du projet pour définir l'action sismique de calcul.

Définition du Site

A 1. Nature du Sol (Annexe B)

- Propriétés mécaniques
- Classification S1 à SS

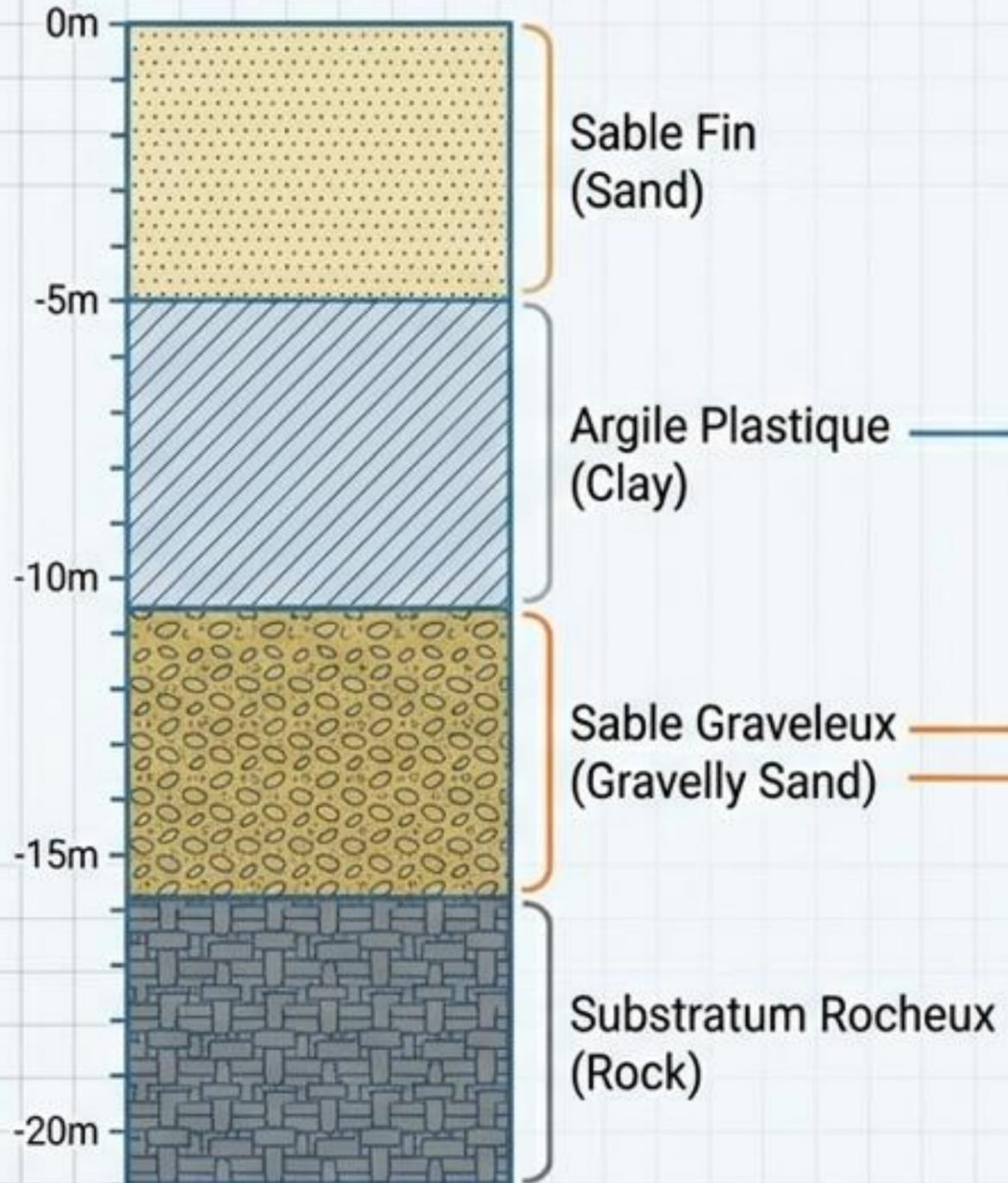


B 2. Géométrie du Terrain (Annexe C)

- Amplification topographique
- Facteur S_T

Applicable à toute nouvelle étude de projet 4 mois après publication au Journal Officiel.

Annexe B : Les Fondations de l'Analyse Sismique



Objectif

Identification précise de la stratigraphie et caractérisation mécanique des sols en place.

Résultat Attendu

- Classification du site en 5 catégories (S1 à SS).
- Détection des zones défavorables.

Exigence Réglementaire

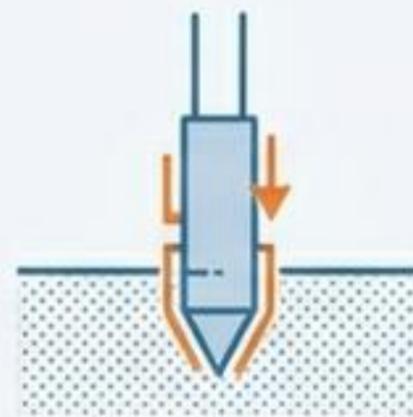
Les suppositions sont interdites. Les paramètres de calcul doivent être obtenus par mesures in-situ.

Protocoles d'Investigation et Essais in-situ



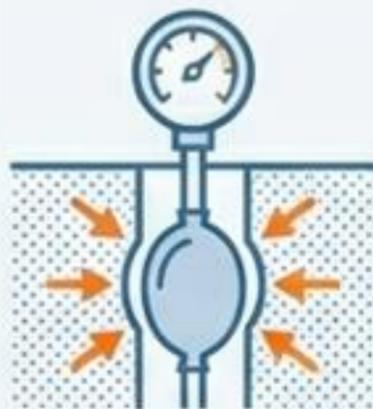
Essai SPT (Standard Penetration Test)

Pour sols granulaires.
Mesure de N_{SPT} .



Essai CPT (Cone Penetration Test)

Pénétration statique.
Mesure de la résistance de pointe q_c .



Essai PMT (Pressiomètre)

Mesure de la pression limite p_l et module E_{PMT} .



Mesure de V_s

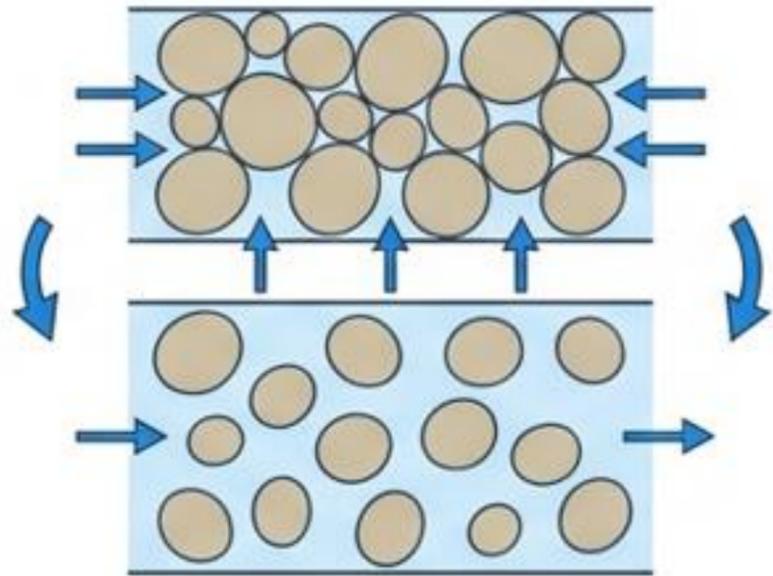
Vitesse d'ondes de cisaillement. Paramètre clé pour la classification.

Ces essais sont indispensables pour valider la catégorie de site (Tableau 3.2) et le coefficient de site S .

Risques Géotechniques Majeurs : Les points d'arrêt

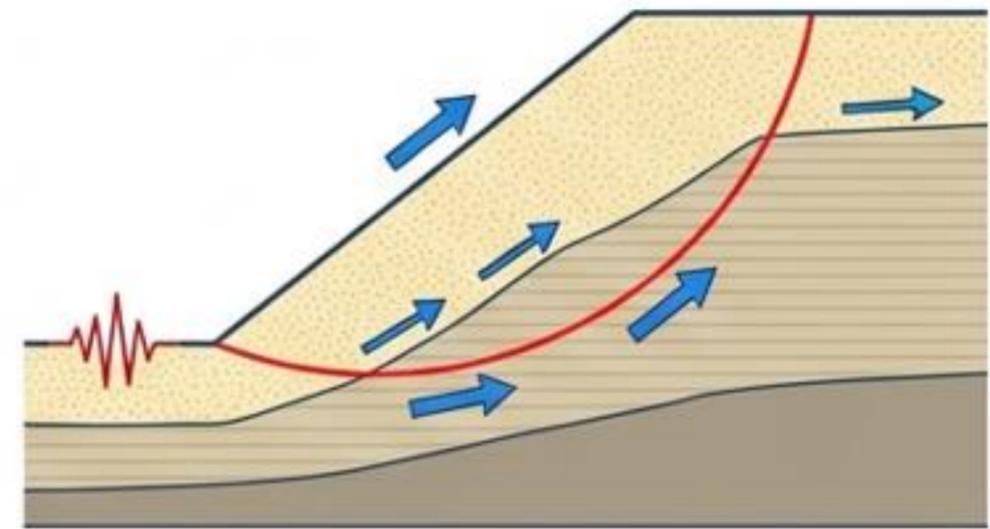
La détection des zones instables est un préalable au calcul de structure.

Liquéfaction des Sols (Chap 10.2 / Annexe B)



Concerne les sols sableux saturés sous vibrations. Nécessite le calcul du taux de contrainte (CSR) vs résistance (CRR).

Stabilité des Pentes (Chap 10.3)

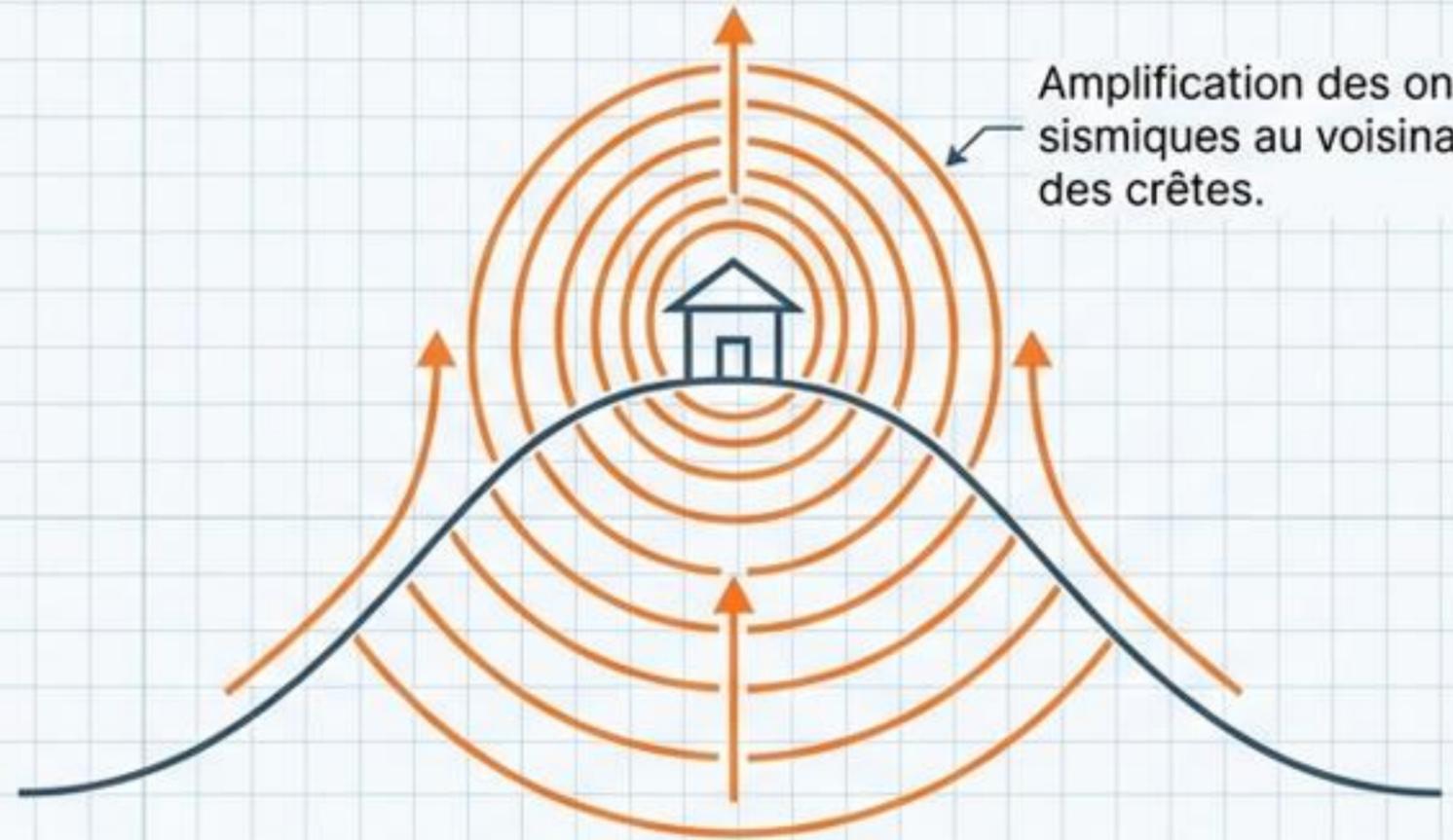


Vérification de la stabilité des talus naturels ou artificiels sous action sismique.

Annexe C : L'Effet de la Topographie



Terrain Plat : $S_T = 1.0$

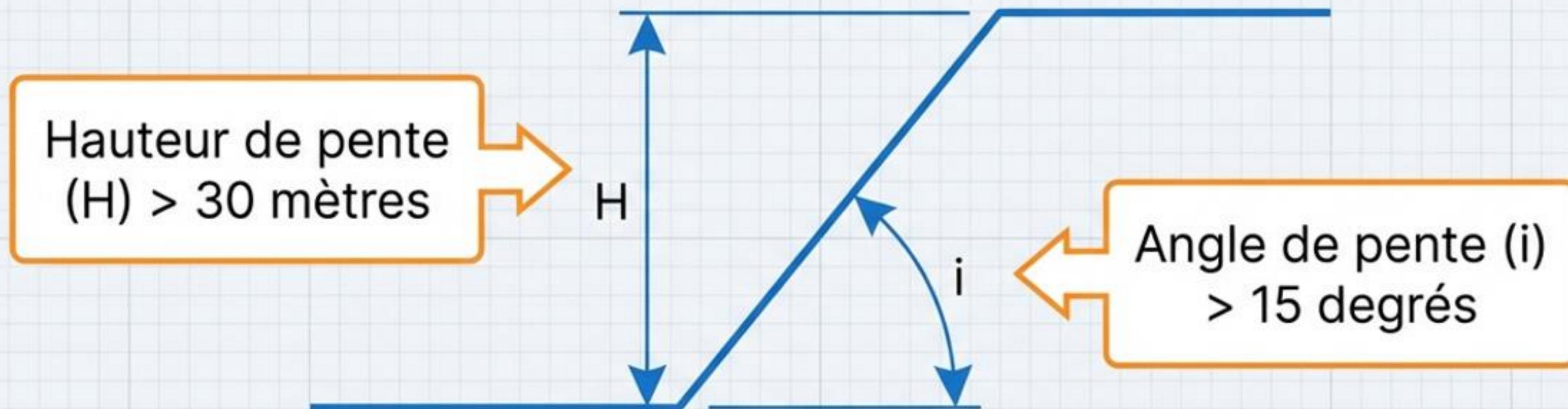


Amplification des ondes sismiques au voisinage des crêtes.

Pentes et Crêtes : $S_T > 1.0$

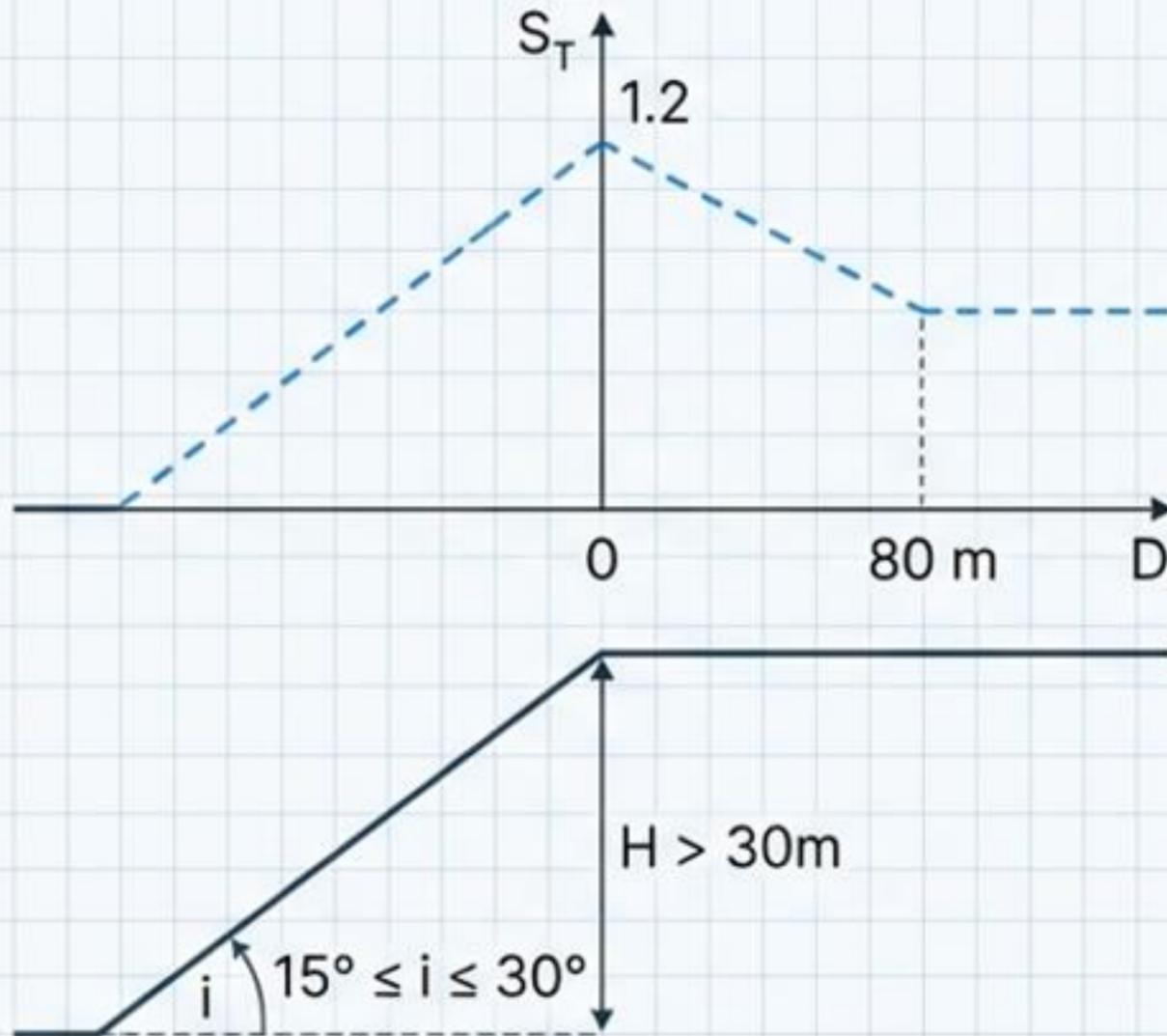
Une amplification supplémentaire doit être introduite pour les structures situées sur ou à proximité de pentes (Commentaire 3.3).

Critères de Déclenchement du Coefficient ST



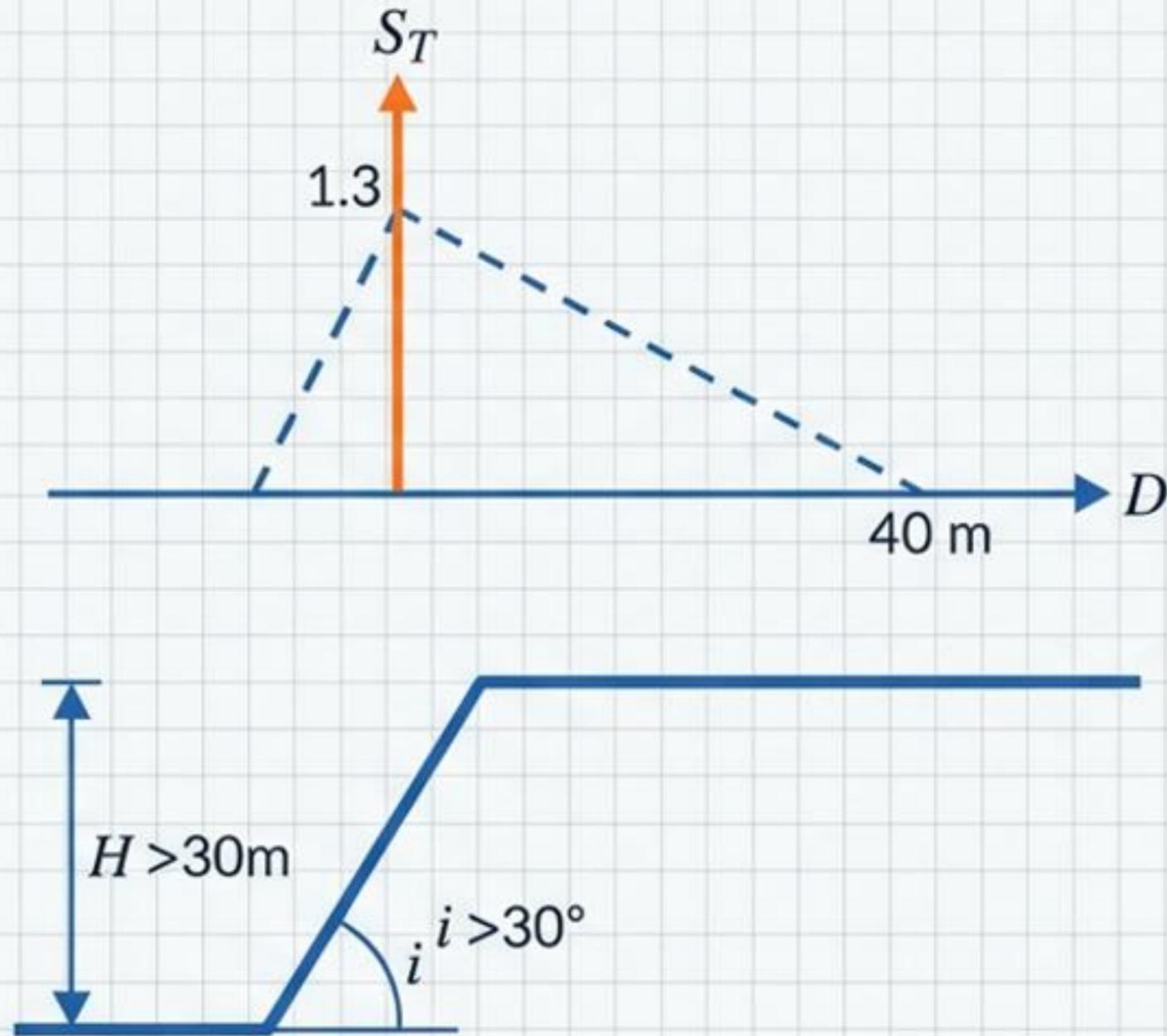
Règle : Si $H \leq 30\text{m}$ OU $i < 15^\circ$, alors $ST = 1.0$ (Effet négligé).

Cas 1 : Pente Isolée (Inclinaison Modérée)



- **Condition** : Pente isolée avec angle $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$.
- **Amplification Max** : $S_T = 1.2$ au niveau de la crête (point 0).
- **Zone d'influence (D)** : L'effet diminue linéairement.
- **Limite** : S_T revient à 1.0 à une distance $D = 80$ m.

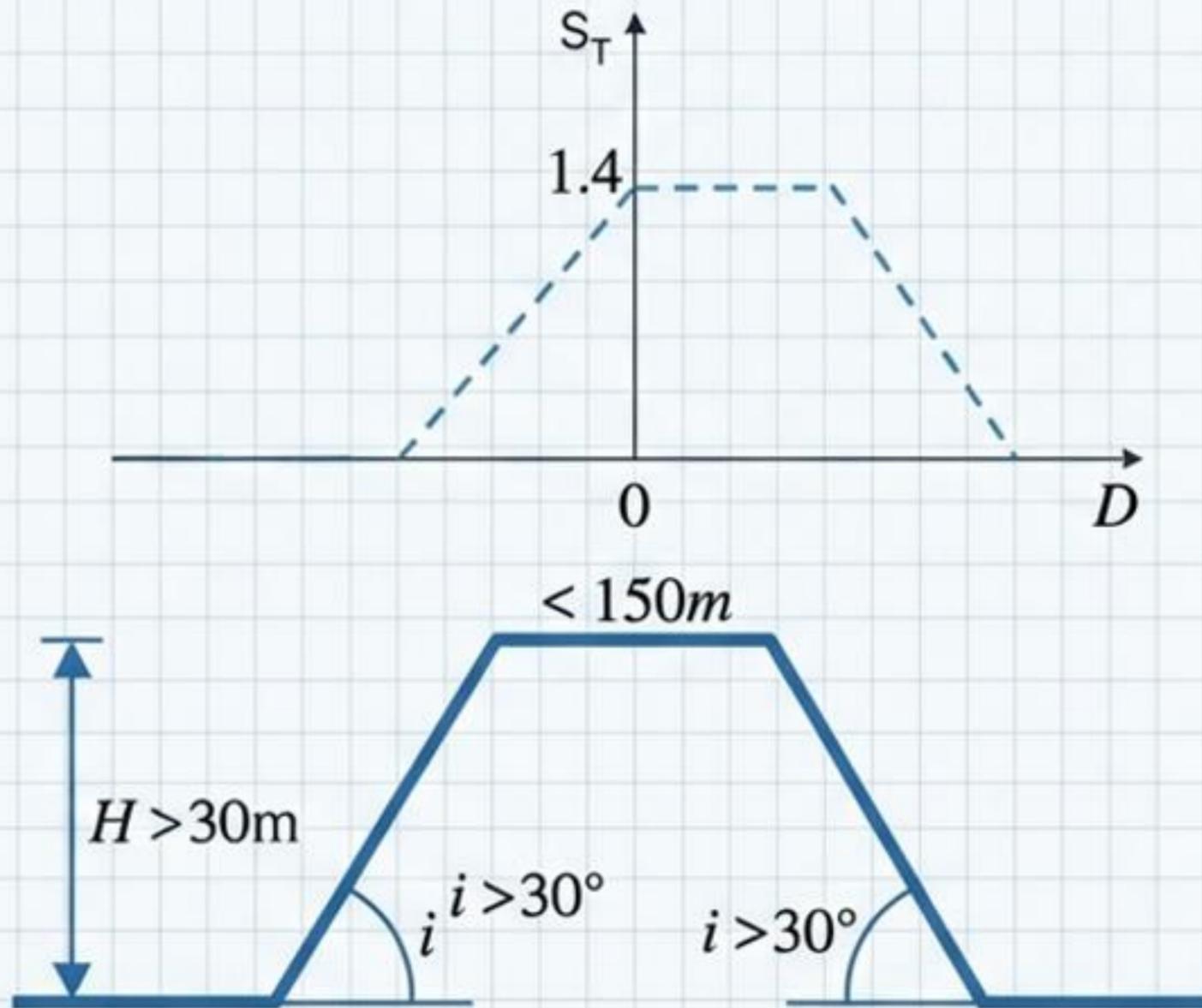
Cas 2 : Pente Isolée (Forte Inclinaison)



- **Condition** : Pente isolée avec angle $i > 30^\circ$.
- **Amplification Max** : $S_T = 1.3$ (Impact plus fort).
- **Zone d'influence (D)** : L'effet s'annule plus rapidement, à $D = 40\text{m}$.

Note : Pente plus raide = Amplification plus forte mais concentrée sur une zone plus courte.

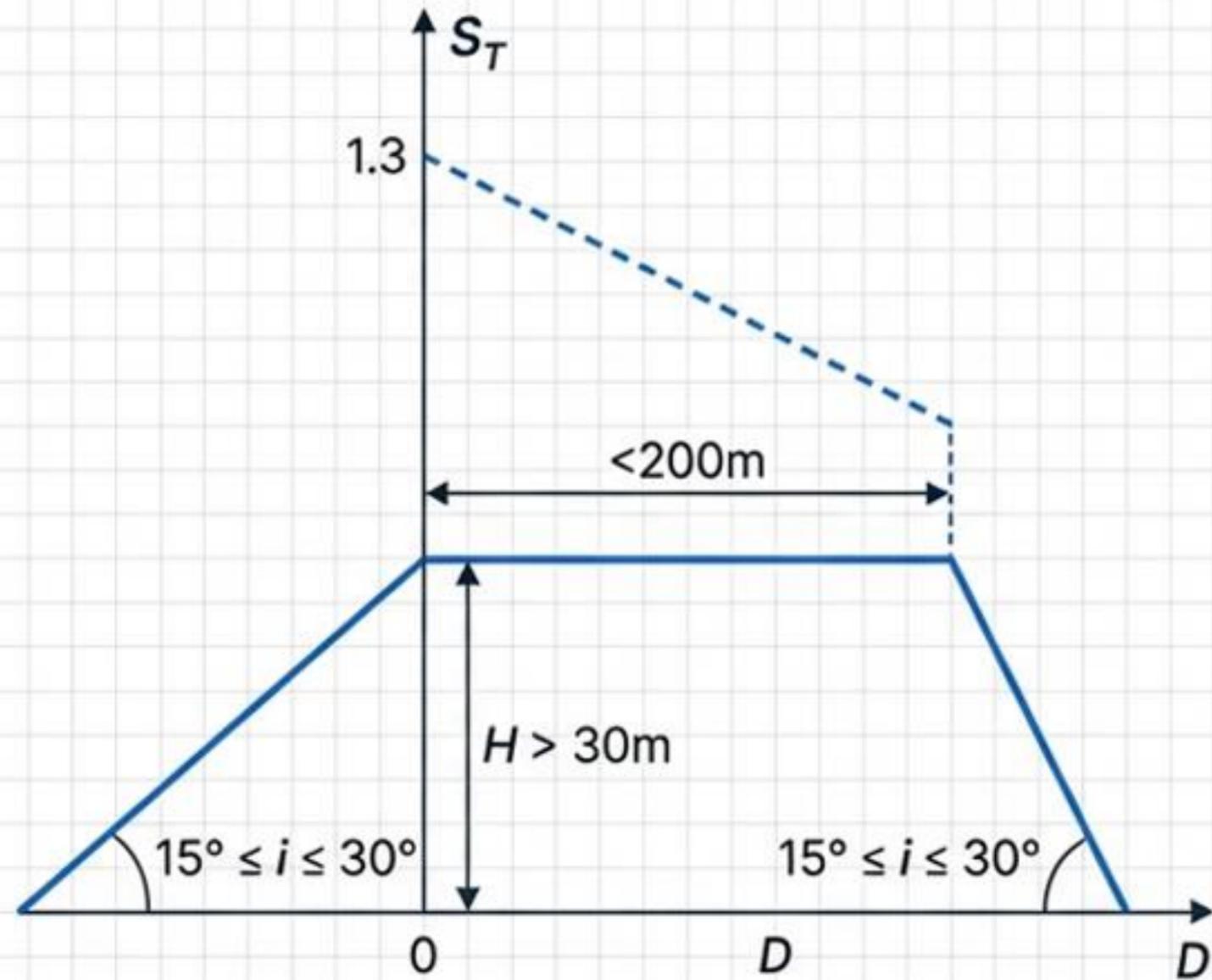
Cas 3 : Crêtes et Pentes à Deux Faces



- **Condition** : Sommet de colline ou crête avec deux versants.
- **Amplification Max** : $S_T = 1.4$ (Pour $i > 30^\circ$).
- **Plateau** : L'effet s'applique sur toute la largeur du plateau (si largeur $< 150m$).

Scénario le plus pénalisant : Majoration de l'action sismique de +40%.

La Zone d'Influence Topographique

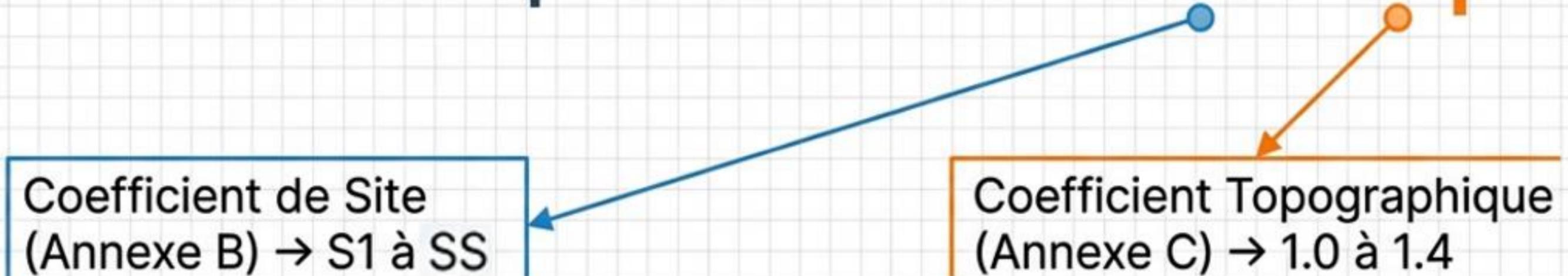


L'amplification ne se limite pas au bord de la pente. Elle se propage sur le plateau.

Interpolation Linéaire :

1. S_T est maximal au bord (crête).
2. S_T décroît en fonction de la distance D .
3. L'ingénieur doit interpoler la valeur de S_T selon la position exacte du bâtiment.

Synthèse : Intégration dans le Calcul Sismique

$$\text{Action Sismique} \propto A \times I \times S \times S_T$$


Coefficient de Site
(Annexe B) → S1 à SS

Coefficient Topographique
(Annexe C) → 1.0 à 1.4

Impact : Négliger l'Annexe C ou mal caractériser l'Annexe B conduit à une **sous-estimation** des forces sismiques de 20% à 40%.

Bâtir l'Avenir sur des Bases Plus Sûres : La Promesse d'une Résilience Continue

Les RPA 2024 ne sont pas une simple mise à jour ; ils incarnent plus de 40 ans de retours d'expérience et d'avancées scientifiques depuis le séisme d'El Asnam. Ils offrent un cadre plus robuste pour la conception et la construction, visant à protéger les vies et à pérenniser le développement.

La prochaine étape de notre voyage vers la résilience dépend de notre capacité collective — ingénieurs, chercheurs, et décideurs — à embrasser ce nouveau cadre, à en tester les limites et à continuer d'innover. La sécurité sismique est un effort continu, et les RPA 2024 sont notre meilleur atout pour le relever.

**MERCI DE
VOTRE
ATTENTION**



Speaker Intro

Dr. BENCHARIF RAOUF

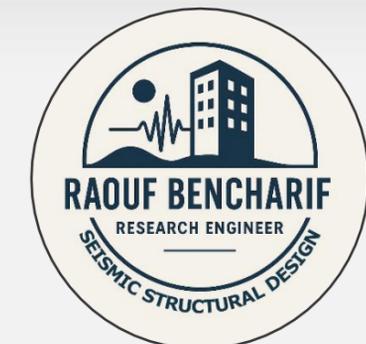
QUALIFICATIONS

- Doctor of Science in Civil Engineering, National School of Built and Ground Works Engineering, (ENSTP), Algiers, Algeria (<http://www.enstp.edu.dz/>)
- Master's Degree in Disaster Management Policy Program: Institution: International Institute of Seismology and Earthquake Engineering IISEE, Tsukuba, Japan (<https://iisee.kenken.go.jp/>), & National Graduate Institute for Policy Studies GRIPS, Tokyo, Japan (<https://www.grips.ac.jp/en/>)
- MAGISTER DEGREE IN CIVIL ENGINEERING, National School of Built and Ground Works Engineering, (ENSTP), Algiers, Algeria (<http://www.enstp.edu.dz/>)
- DEGREE OF ENGINEER IN PUBLIC WORKS, National School of Built and Ground Works Engineering, (ENSTP), Algiers, Algeria (<http://www.enstp.edu.dz/>)



Email: b.raouf85@gmail.com

Email: rbencharif@cgs-dz.org



RESEARCH & TEACHING EXPERIENCE

- March 2014 to 2022: Research Associate in the Seismic Microzonation Division – Experimental Soil Dynamics Research Team at the National Center for Applied Research in Earthquake Engineering (CGS)
- 2022 to Present: Head of Scientific Equipment Maintenance Service in the Scientific Equipment Testing and Measurement Department at the National Center for Applied Research in Earthquake Engineering (CGS)