

Effets de site et les spectres de réponse EC8 et RFS2001.01

Luis Fabián Bonilla

Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire

Plan

- Historique
- Le réseau K-net au Japon
- Prédiction empirique du mouvement sismique
- Les mesures Vs30 ou H/V pour caractériser les sites?
- Conclusions

Remerciements

- Pousse G., C. Berge-Thierry, L.F. Bonilla and P.Y. Bard (2005). Eurocode 8 Design Response Spectra Evaluation using the K-NET Japanese Database, *Journal of Earthquake Engineering*, **9**, 547-574.
- Yoshimitzu Fukushima (Shimitzu Corp. Japon), Oona Scotti (IRSN) and John Douglas (BRGM)

Spectres EC8 : forme générale

For the horizontal components of the seismic action, the elastic response spectrum $S_e(T)$ is defined by the following expressions,

$$0 \leq T \leq T_B : S_e(T) = a_g S \left[1 + \frac{T}{T_B} (2.5\eta - 1) \right]$$

$$T_B \leq T \leq T_C : S_e(T) = a_g S \eta^{2.5}$$

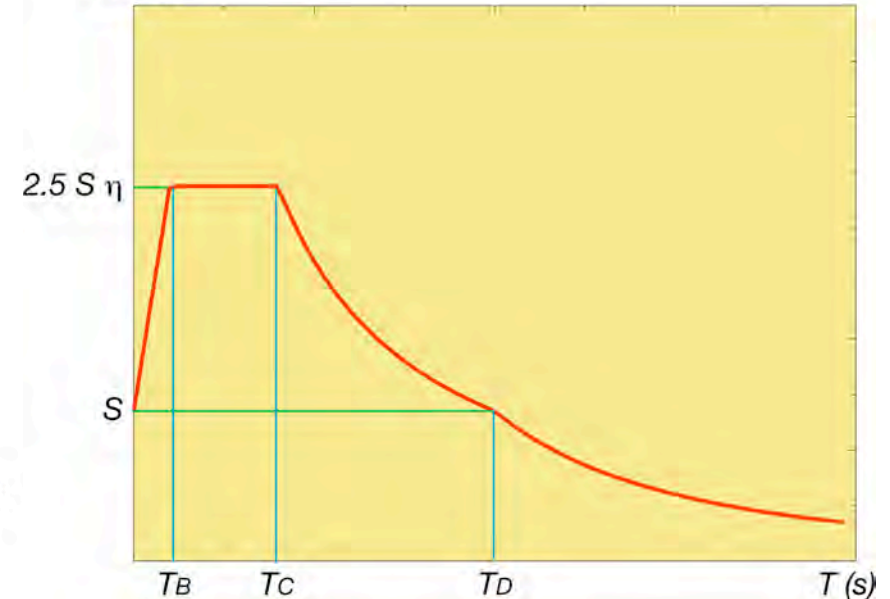
$$T_C \leq T \leq T_D : S_e(T) = a_g S \eta^{2.5} \frac{T_C}{T}$$

$$T_D \leq T \leq 4s : S_e(T) = a_g S \eta^{2.5} \frac{T_C T_D}{T^2}$$

where

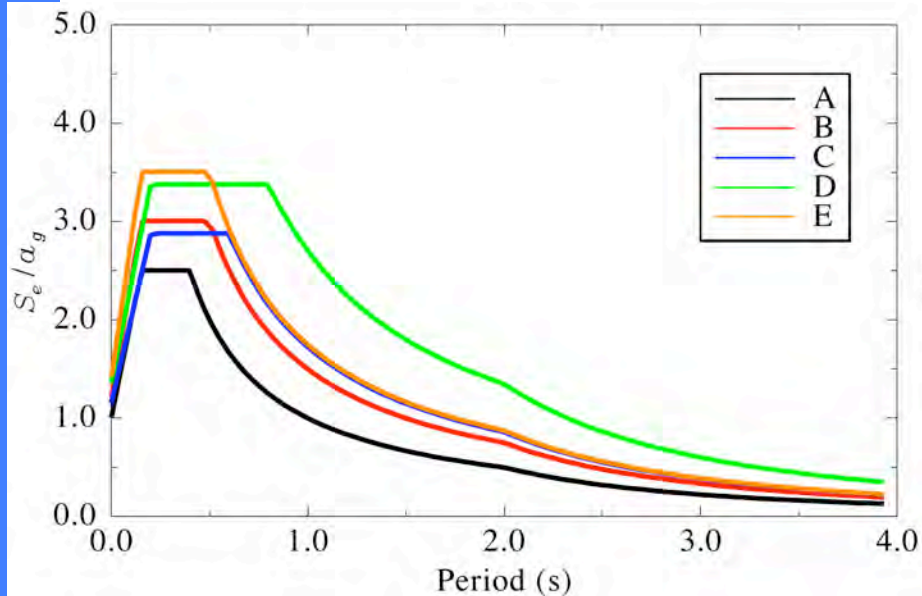
- $S_e(T)$ elastic response spectrum
- T vibration period of a linear single-degree-of-freedom system
- a_g design ground acceleration on type A ground
- T_B, T_C limits of the constant spectral acceleration branch
- T_D value defining the beginning of the constant displacement response range of the spectrum
- S soil factor
- η damping correction factor with reference value $\eta = 1$ for 5% viscous damping

S_e / a_g

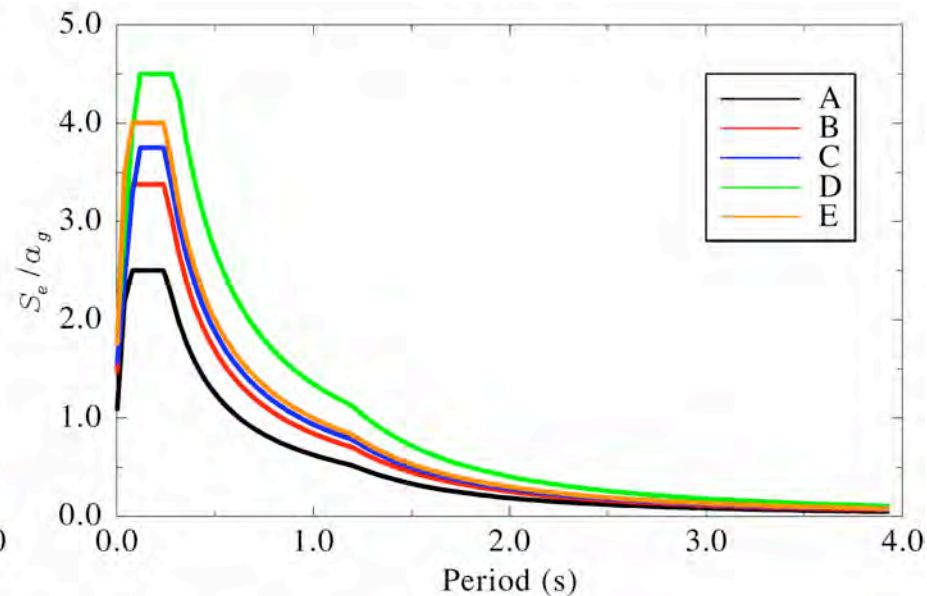


Spectres : Recommandations EC8

Spectre de type 1
(05/2002)



Spectre de type 2
(05/2002)



Site	V_{S30} (m/s)	NEHRP	EC8 ⁽¹⁾	Japan ⁽²⁾
Rock	$V_{S30} > 1500$	A		
Stiff soil	$760 < V_{S30} \leq 1500$	B	A	$T_G < 0.2s$
Hard soil	$380 < V_{S30} \leq 760$	C	B	$0.2s \leq T_G < 0.4s$
Medium soil	$180 < V_{S30} \leq 380$	D	C	$0.4s \leq T_G < 0.6s$
Soft soil	$V_{S30} \leq 180$	E	D	$T_G \geq 0.6s$

Table 1: Soil classification in the USA, Europe and Japan. (1) E class is C or D soils having a thickness less than 20 m underlain by stiffer material $V_{S30} > 800$ m/s. (2) In Japan, the soil classification can also be related to the resonance period T_G of soils in the first 30 m depth (Zhao *et al.*, 2006).

Spectres EC8, Type 1

Table A2.1. Records used for Class A, Type 1 Spectrum.

Record	Date	Time	M_s	d (km)	Station
F133	15-IX-1976	09:21:19	6.0	9	SAN ROCCO
F135	15-IX-1979	09:21:19	6.0	6	TARCENTO
F120	15-IX-1976	03:15:19	6.1	12	SAN ROCCO
IR05	23-XI-1980	18:34:52	6.9	16	STURNO
IR08	23-XI-1980	18:43:52	6.9	23	AULETTA

Table A2.3. Site Class B, Type 1 Spectrum.

Record	Date	Time	M_s	d (km)	Station
F132	15-IX-1976	09:21:19	6.0	9	FORGARIA
IT47	15-IX-1976	03:15:19	6.1	12	FORGARIA
MN35	24-V-1979	17:23:18	6.3	30	ULCINJ-1
MN36	24-V-1979	17:23:18	6.3	12	BAR-1
IR04	23-XI-1980	18:34:52	6.9	33	MER.S.SEV
IR18	23-XI-1980	18:34:52	6.9	88	SAN SEVERO
MON2	15-IV-1979	06:19:41	7.0	9	ULCINJ-1
MON4	15-IV-1979	06:19:41	7.0	12	BAR-1

Table A2.5. Records used for Class C, Type 1 Spectrum.

Record	Date	Time	M_s	d (km)	Station
TABA	16-IX-1978	15:35:57	7.3	3	TABAS
BOSH	16-IX-1978	15:35:57	7.3	34	BOSHROOYEH
FERD	16-IX-1978	15:35:57	7.3	94	FERDOWS
GR16	24-II-1981	20:53:37	6.7	13	KORINTHOS
GR69	24-II-1981	20:53:37	6.7	4	XYLOKASTRO
GR27	17-I-1983	12:42:30	7.0	87	LEFKAS 3
ITS1	17-I-1983	12:42:30	7.0	117	AGRINIO
GUK1	7-XII-1988	07:41:23	6.8	20	GUKASIAN
MJ07	20-VI-1990	21:00: -	7.3	65	AGRINIO
MJ01	20-VI-1990	21:00: -	7.3	67	ABHAR
MJ08	20-VI-1990	21:00: -	7.3	78	TONEKABUN

Table A2.7. Records used for Class D, Type 1 and 2 Spectra.

Record	Date	Time	M_s	d (km)	Station
IT49	15-IV-1978	23:33:48	5.8	11	PATTI
GRV2	21-XII-1990	06:57:43	6.1	31	EDESA
GAZI	17-V-1976	02:58:41	7.1	3	GAZLI

Table A2.8. Records used for Class E, Type 1 Spectrum.

Record	Date	Time	M_s	d (km)	Station
IR17	23-XI-1980	18:34:52	6.9	46	BOVINO
IR14	23-XI-1980	18:34:52	6.9	63	TRICARICO
IR03	23-XI-1980	18:34:52	6.9	33	BRIENZA
IR09	23-XI-1980	18:34:52	6.9	30	RIO.IN.VUL
IR19	23-XI-1980	18:34:52	6.9	135	VIESTE

1. Essentiellement SMA-1
2. Sismicité forte

Table A2.2. Records used for Class A, Type 2 Spectrum.

Record	Date	Time	M_s	d (km)	Station
FR52	11-VI-1976	17:16:36	4.0	13	TOLMEZZO1
FR57	11-VI-1976	17:16:36	4.0	5	SAN ROCCO
FR73	14-VII-1976	05:39:34	4.0	17	TARCENTO
FR23	11-V-1976	22:44:01	4.7	16	TARCENTO
FR13	7-V-1976	00:23:49	4.8	14	TOLMEZZO1
FR18	6-V-1976	20:00:13	4.9	33	TOLMEZZO1
F146	16-IX-1977	23:48:08	5.2	7	SAN ROCCO
F103	11-IX-1976	16:31:10	5.5	20	SAN ROCCO
F110	11-IX-1976	16:35:03	5.5	16	SAN ROCCO

Table A2.4 Records used for Class B, Type 2 Spectrum.

Record	Date	Time	M_s	d (km)	Station
FR50	11-VI-1976	17:16:36	4	6	FORGARIA
MN18	15-IV-1979	12:43:46	4	7	ULCINJ-I
MN44	2-VIII-1979	14:41:48	4	16	ULCINJ-I
FR19	10-V-1976	04:35:54	4.2	22	FORGARIA
FR58	17-VI-1976	14:28:51	4.2	16	FORGARIA
GR94	8-VIII-1990	00:35:07	4.2	15	KALAMATA-3
MN32	14-V-1979	09:53:07	4.2	7	ULCINJ-I
F123	15-IX-1976	04:38:54	4.3	16	FORGARIA
FR38	8-VI-1976	12:14:38	4.3	32	FORGARIA
KAL2	15-IX-1986	11:41:28	4.6	1	KALAMATA-1
KAL3	15-IX-1986	11:41:28	4.6	1	KALAMATA-3
FR21	11-V-1976	22:44:01	4.7	2	FORGARIA
MN17	15-IV-1979	06:31:12	4.8	52	ULCINJ-I
FR16	9-V-1976	00:53:44	4.9	26	FORGARIA
MN21	16-IV-1979	10:04:40	4.9	3	ULCINJ-I
MN25	16-IV-1979	10:04:40	4.9	21	BAR-1
F145	16-IX-1977	23:48:08	5.2	6	FORGARIA
MN02	9-IV-1979	02:10:21	5.2	17	ULCINJ-I
F102	11-IX-1976	16:31:10	5.5	20	FORGARIA
IT45	11-IX-1976	16:35:03	5.5	16	FORGARIA
GR46	13-IX-1986	17:24:31	5.8	5	KALAMATA-3
KAL1	13-IX-1986	17:24:31	5.8	5	KALAMATA-1
MN19	15-IV-1979	14:43:06	5.8	42	ULCINJ-I
MN24	15-IV-1979	14:43:06	5.8	41	BAR-1

Spectres EC8, Type 2

Table A2.6. Records used for Class C, Type 2 Spectrum.

Record	Date	Time	M_s	d (km)	Station
GR17	4-XI-1973	15:52:12	5.7	11	LEFKAS 1&2
TU20	18-VII-1979	13:12:02	5.0	6	DURSUNBEY
FARM	23-VII-1981	00:05:33	5.6	50	FARMONDARI
UM03	29-IV-1984	05:02:59	5.4	33	CITTA
LZ11	7-V-1984	17:49:43	5.4	33	ORTUCCHIO
LZ15	7-V-1984	17:49:43	5.4	39	LIMA DP
LZ12	7-V-1984	17:49:43	5.4	52	GARIG CNI
LZ13	7-V-1984	17:49:43	5.4	52	GARIG CN2
KILL	16-X-1988	12:34:05	5.6	11	ZAKYNTHOS1
GUK2	7-XII-1988	07:45:45	5.8	10	GUKASIAN

Table A2.7. Records used for Class D, Type 1 and 2 Spectra.

Record	Date	Time	M_s	d (km)	Station
IT49	15-IV-1978	23:33:48	5.8	11	PATTI
GRV2	21-XII-1990	06:57:43	6.1	31	EDESA
GAZI	17-V-1976	02:58:41	7.1	3	GAZLI

1. Essentiellement SMA-1
2. Sismicité modérée

Spectres EC8, Type 1

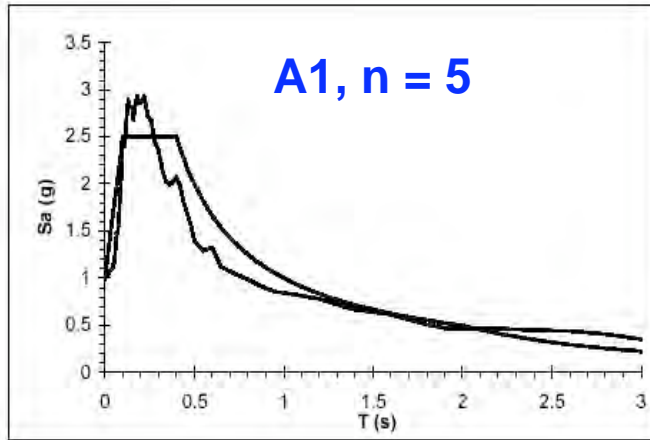


Figure A2.1. Site Class A, Type 1 Spectrum.

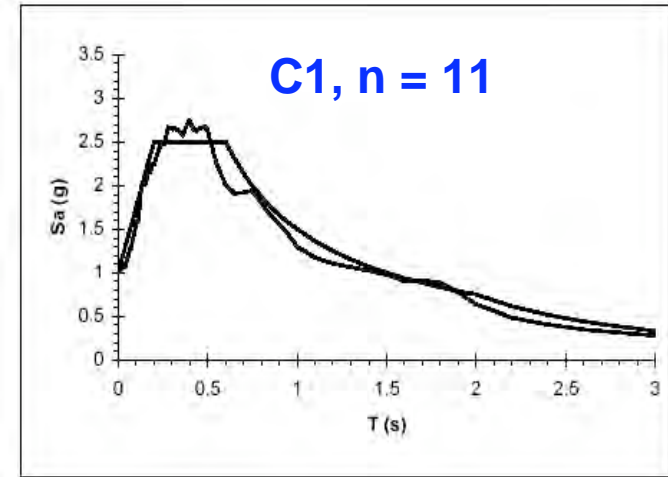


Figure A2.5. Site Class C, Type 1 Spectrum.

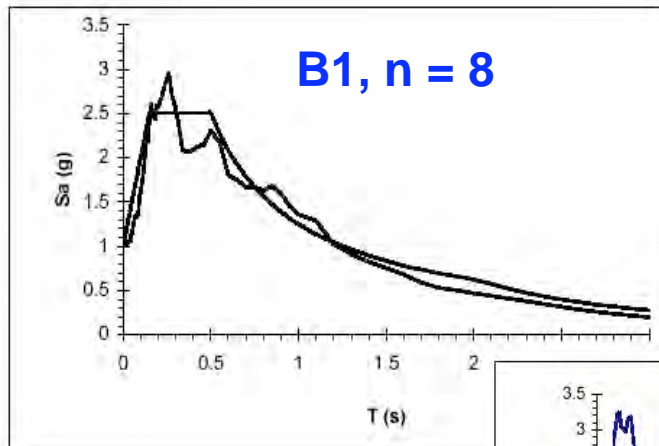


Figure A2.3. Site Class B, Type 1 S

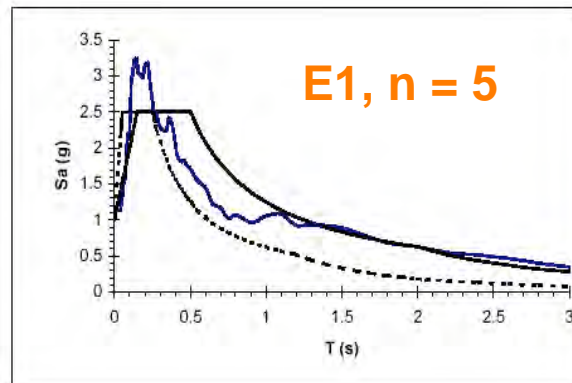


Figure A2.8. Site Class E, Type 1 Spectrum.

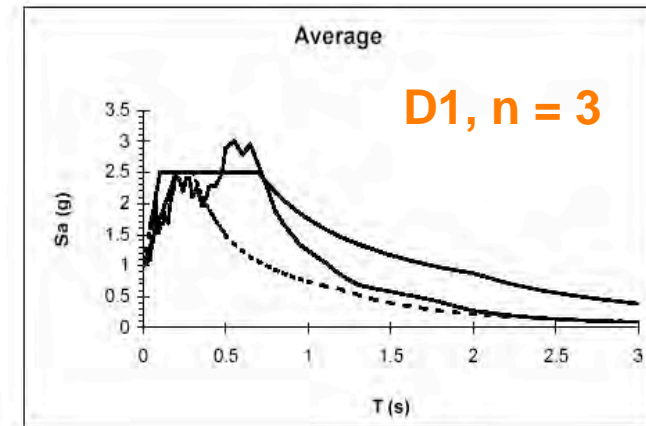


Figure A2.7. Site Class D, Type 1 (solid) and Type 2 (dashed) Spectra.

Spectres EC8, Type 2

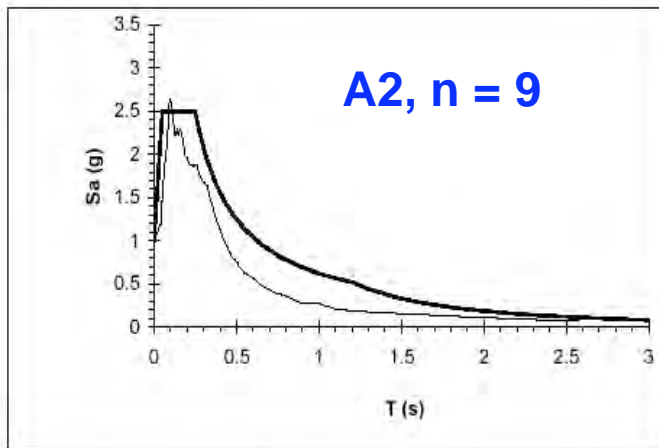


Figure A2.2. Site Class A, Type 2 Spectrum.

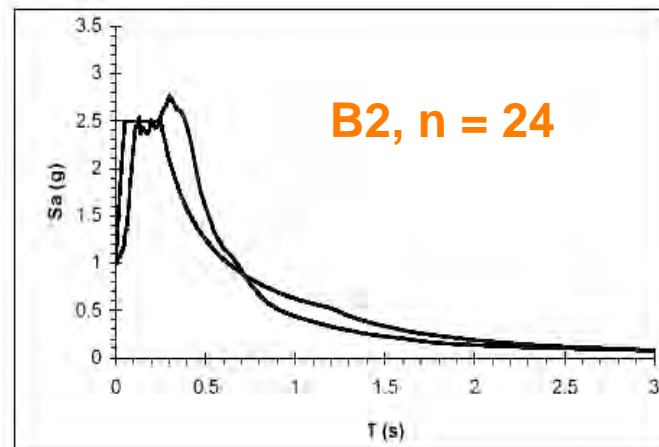


Figure A2.4. Site Class B, Type 2 Spectrum.

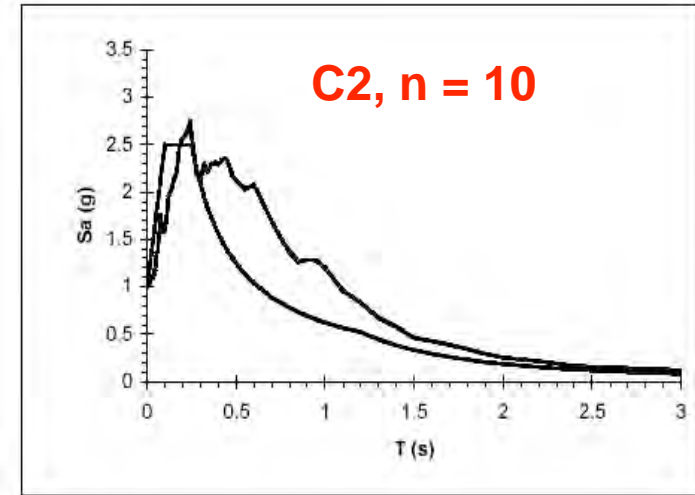


Figure A2.6. Site Class C, Type 2 Spectrum.

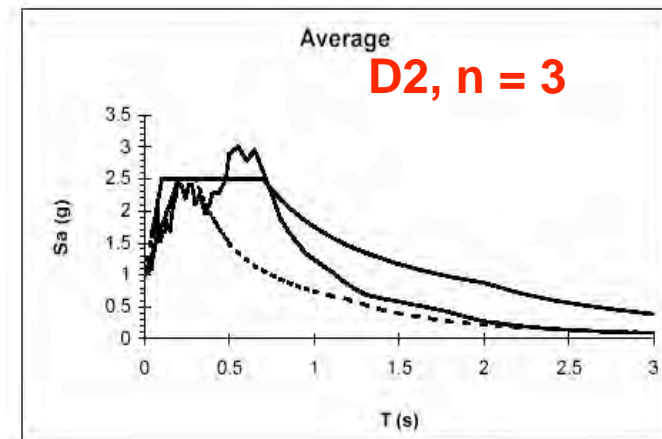


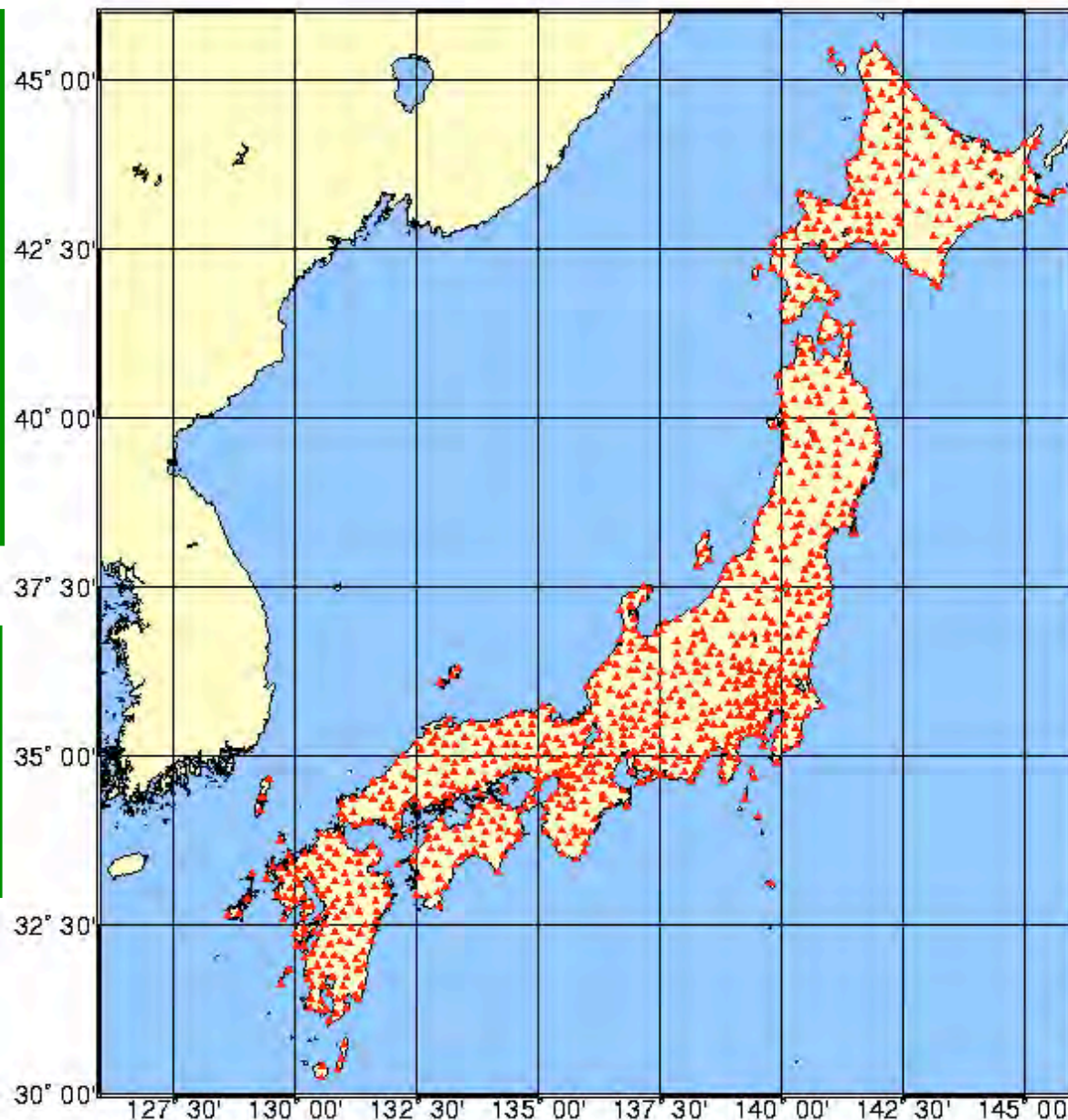
Figure A2.7. Site Class D, Type 1 (solid) and Type 2 (dashed) Spectra.

Principales constatations initiales

- Enregistrements analogiques (SMA-1)
- Nombre de données pas assez représentatif
- Spectres type 2 :
 - Formes scientifiquement non justifiées
 - Quelles observations
 - Site A (Rocher) : Conservatif pour $T > 0.15$ s
 - (cohérent avec données européennes)
 - Site B (Rocher altéré / Sols raides) :
 - Trop faible pour $T < 0.20$ s
 - Conservatif pour $T > 0.20$ s
 - Site C (sol "normal") :
 - Trop faible pour $T > 0.30$ s
 - Site D (sol mou) :
 - Trop faible pour $T > 0.40$ s



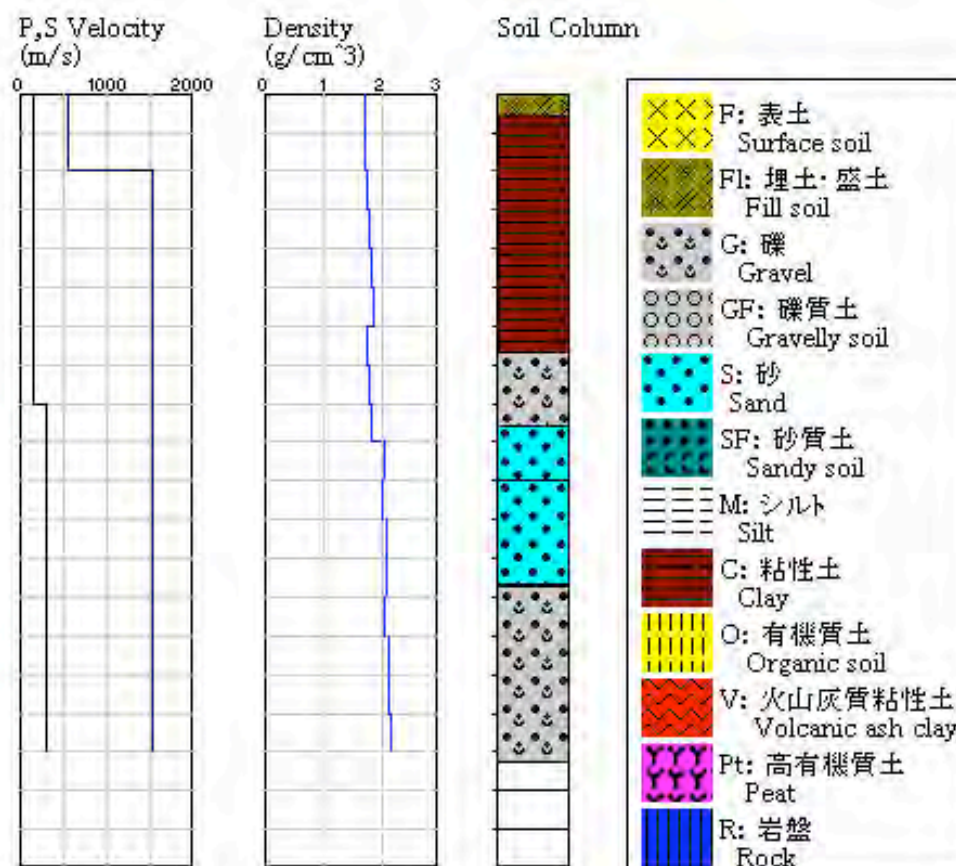
1000
accéléromètres
maille = 25 km



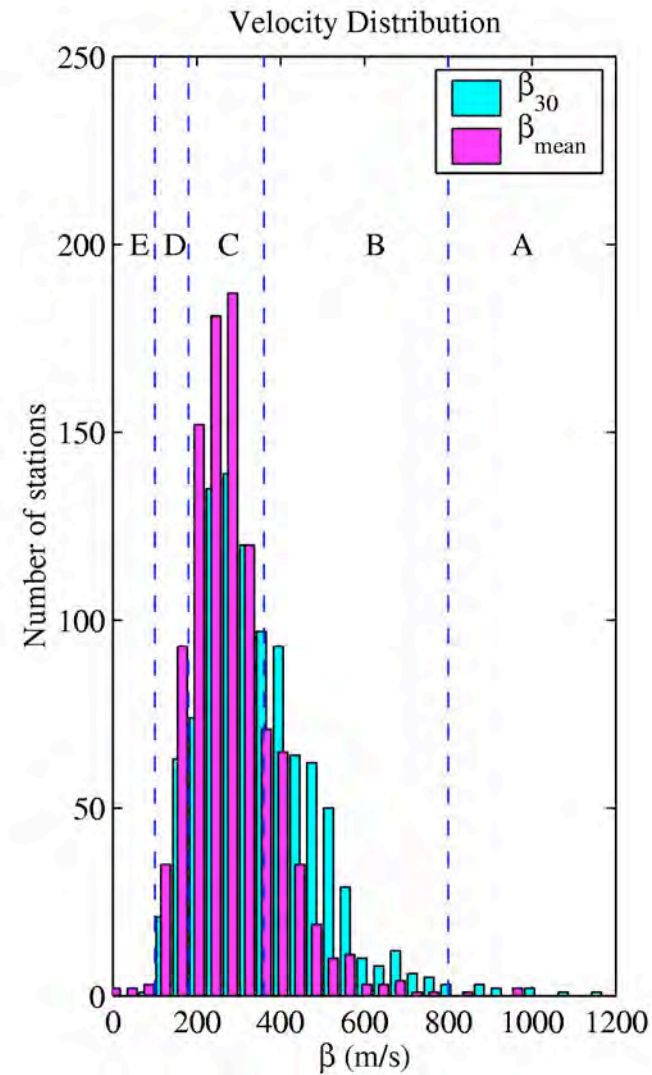
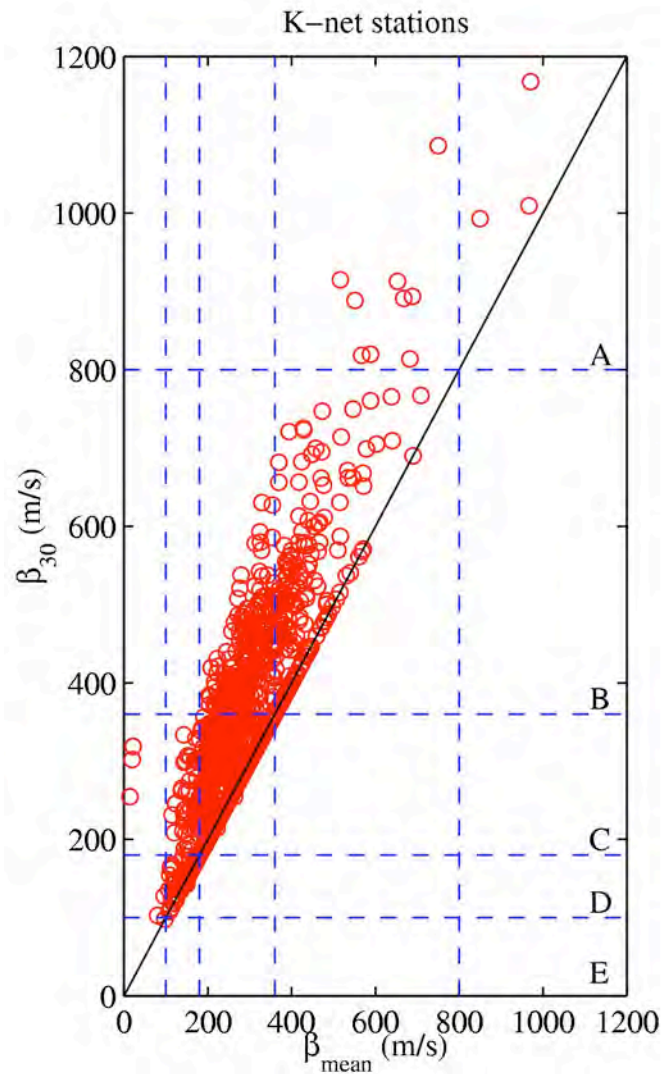
Kyoshin Net

Données géotechniques pour chaque station

- pénétromètre dynamique
- mesure de vitesses
- mesure de densité
- reconnaissance visuelle de la nature des sols

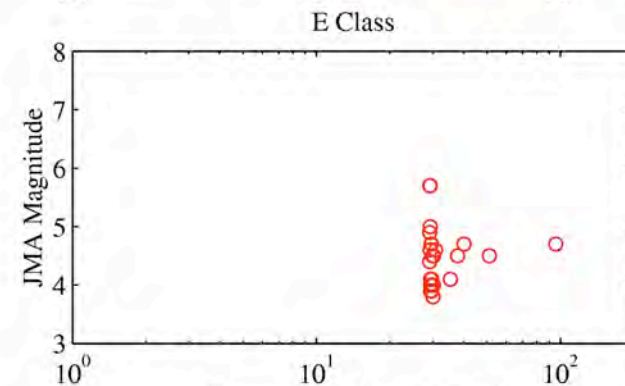
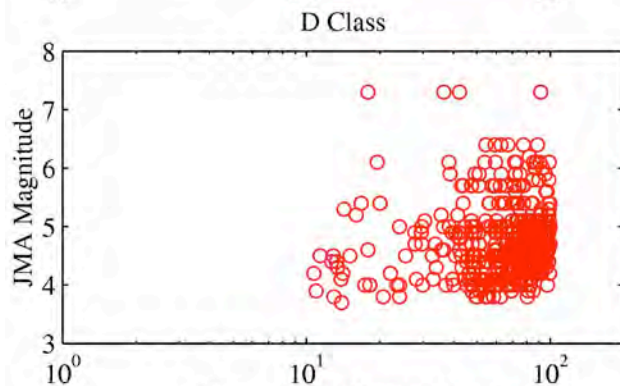
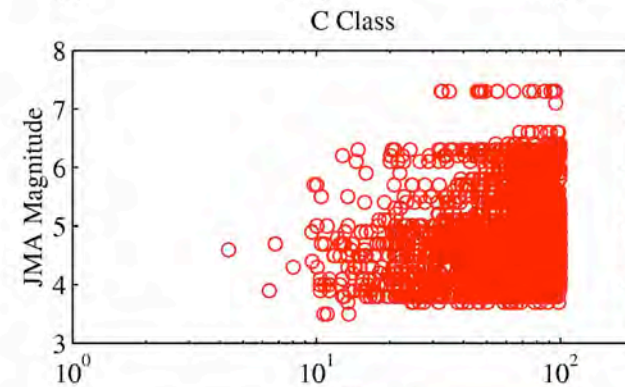
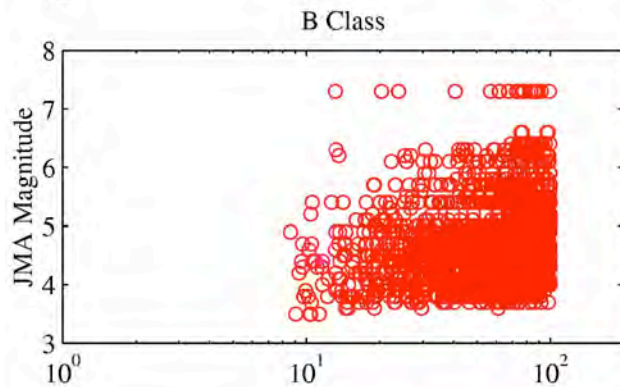
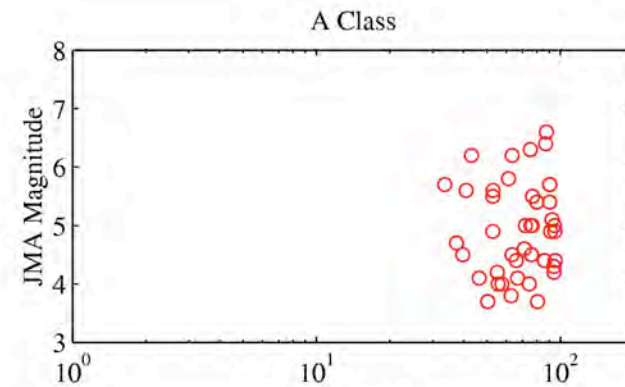
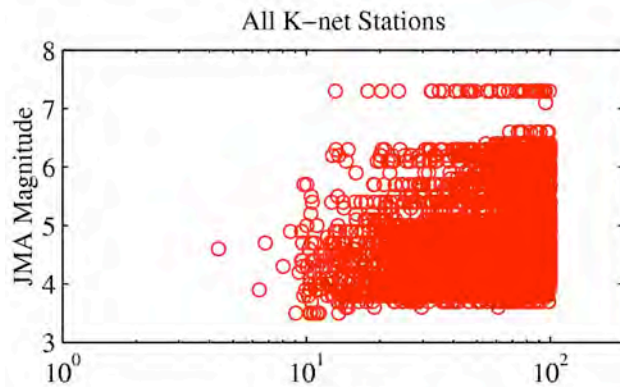


Distribution des Stations

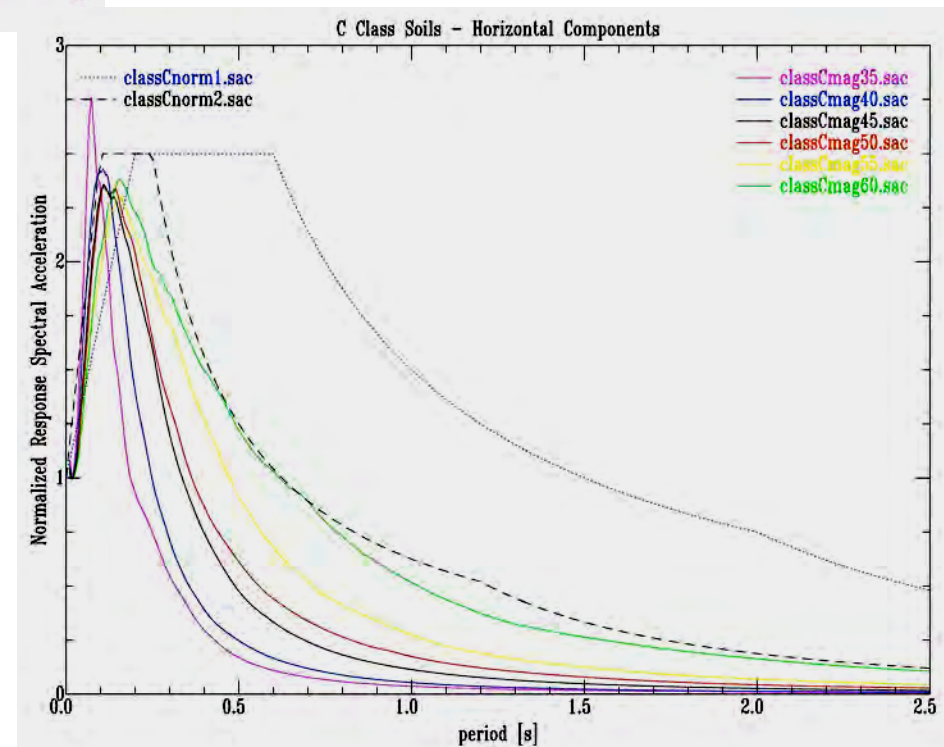
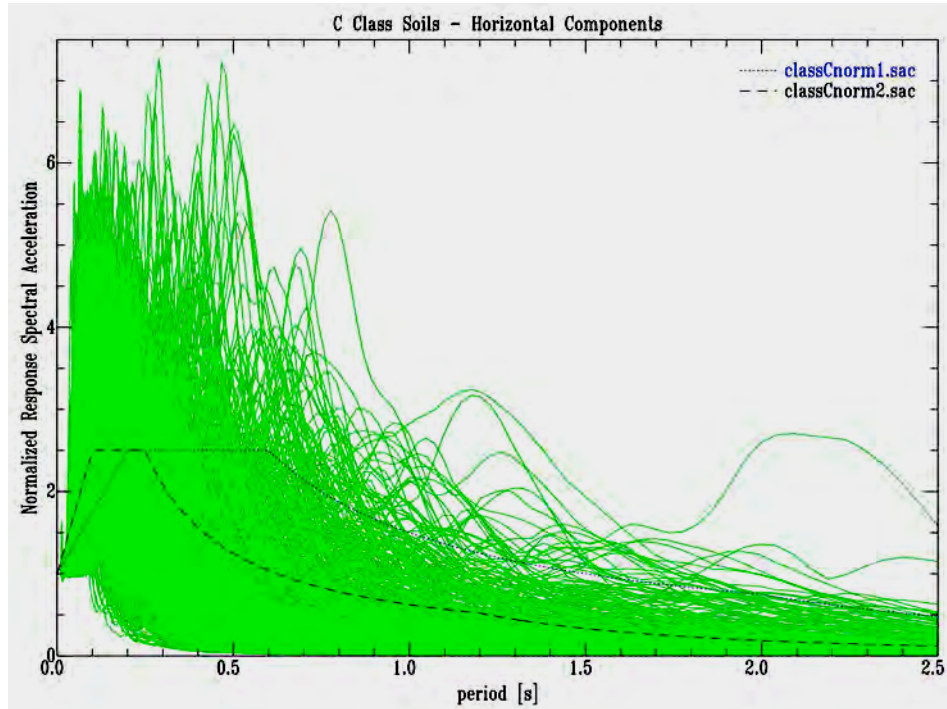


**La classification de sol peut changer en fonction du calcul de V_s
(Pousse, 2005)**

Magnitude - Distance



Données K-net vs EC8 - sol C

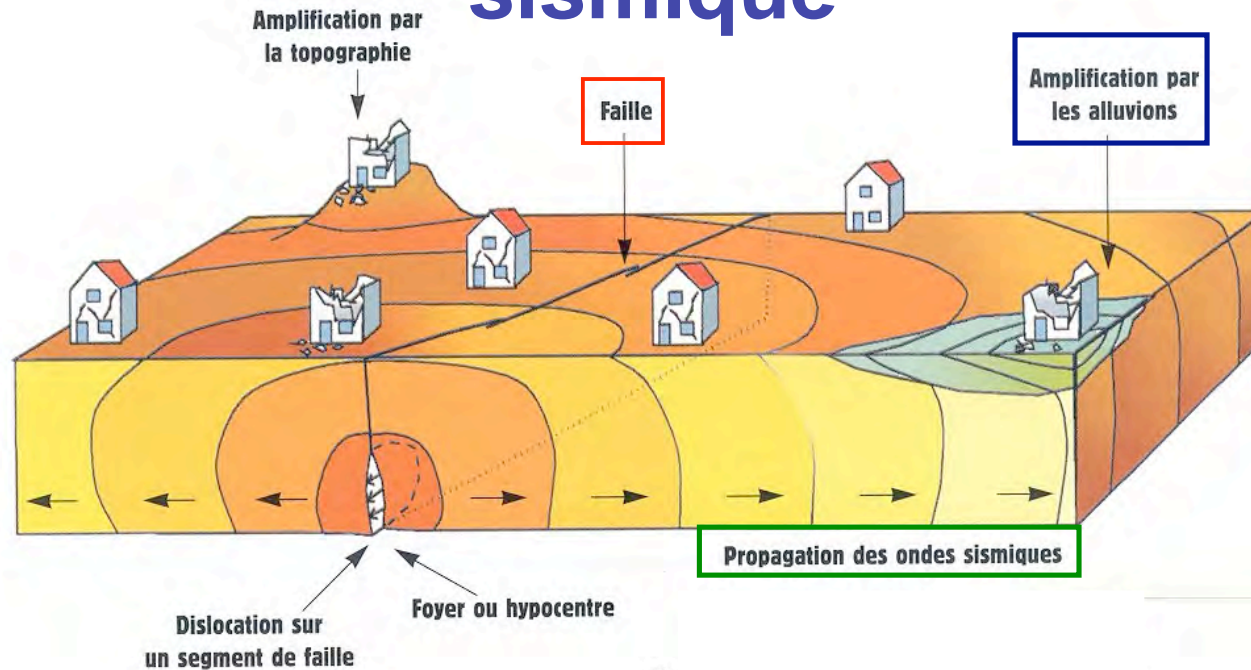


Statistiques

EC8 - Type 1						
Soil Type	A	B	C	D	E	Total
Events	3	4	5	3	1	16
Sites	4	5	10	3	5	27
Records(*)	10	16	22	6	10	64
Magnitude interval	[6 6.9]	[6 7]	[6.7 7.3]	[5.8 7.1]	[6.9]	[5.8 7.5]
EC8 - Type 2						
Events	6	20	7	3	Na	36
Sites	3	5	10	3	Na	21
Records(*)	18	48	20	<i>cf. Type 1</i>	Na	86
Magnitude interval	[4 5.5]	[4 5.8]	[5.4 5.8]	<i>cf. Type 1</i>	[Na Na]	[4 5.8]
K-net						
Events	91	408	502	106	15	1122
Sites	35	315	293	43	5	691
Records(*)	266	3008	3036	454	48	6812
Magnitude interval			[4 7.3]			[4 7.3]

- Grande **dispersion** des données.
- Classes A et E **pauvres**.
- Formes moyennées **cohérentes** avec les spectres de type2.

Prédiction empirique du mouvement sismique



$$\log(PSA(f)) = a(f) \cdot M + b(f) \cdot R - \log(R) + c(i, f) + \sigma$$

Source

Magnitude

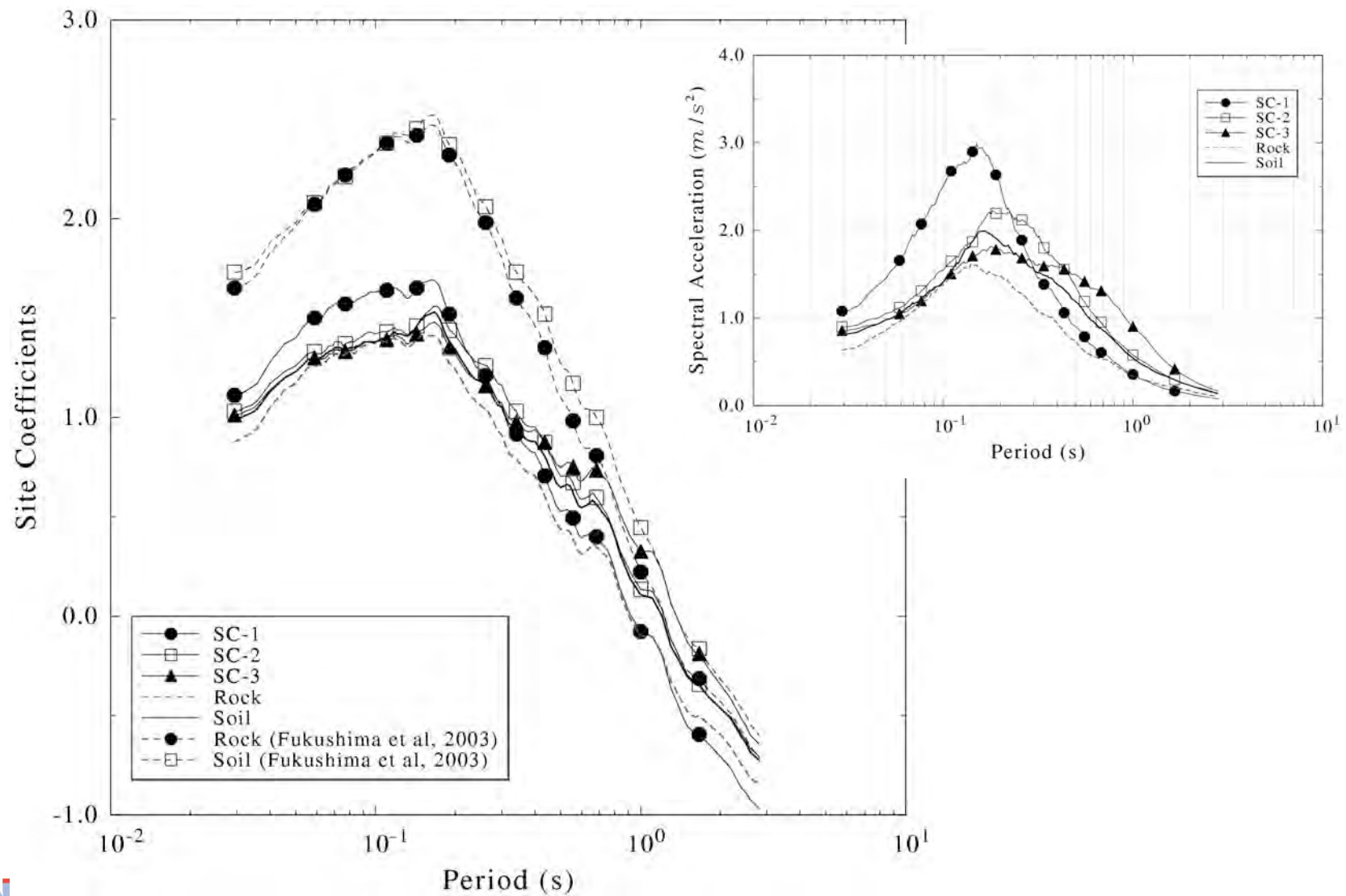
Parcours

Distance

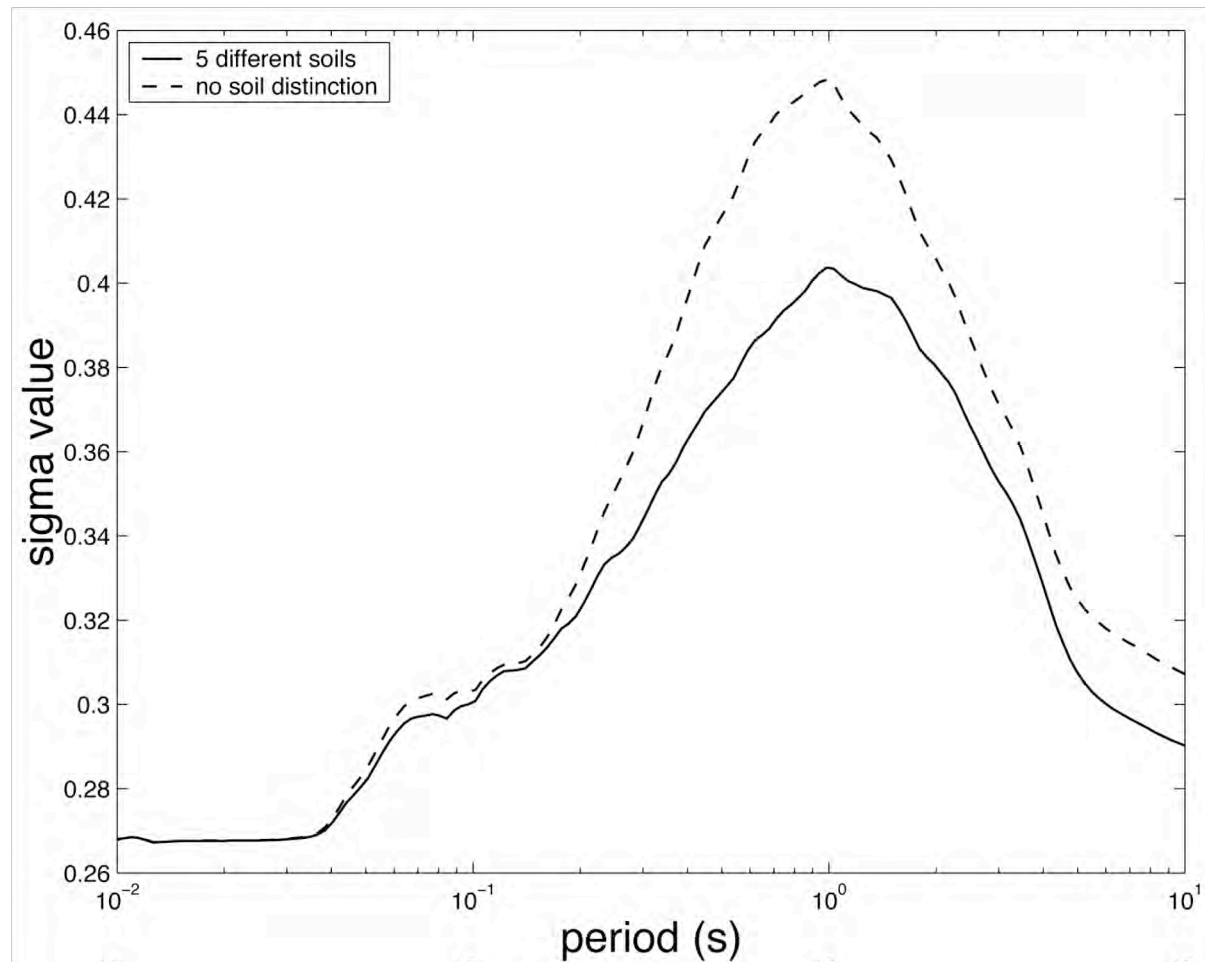
Site

Caractéristiques du sol

Pourquoi les effets de site sont-ils importants? (1)

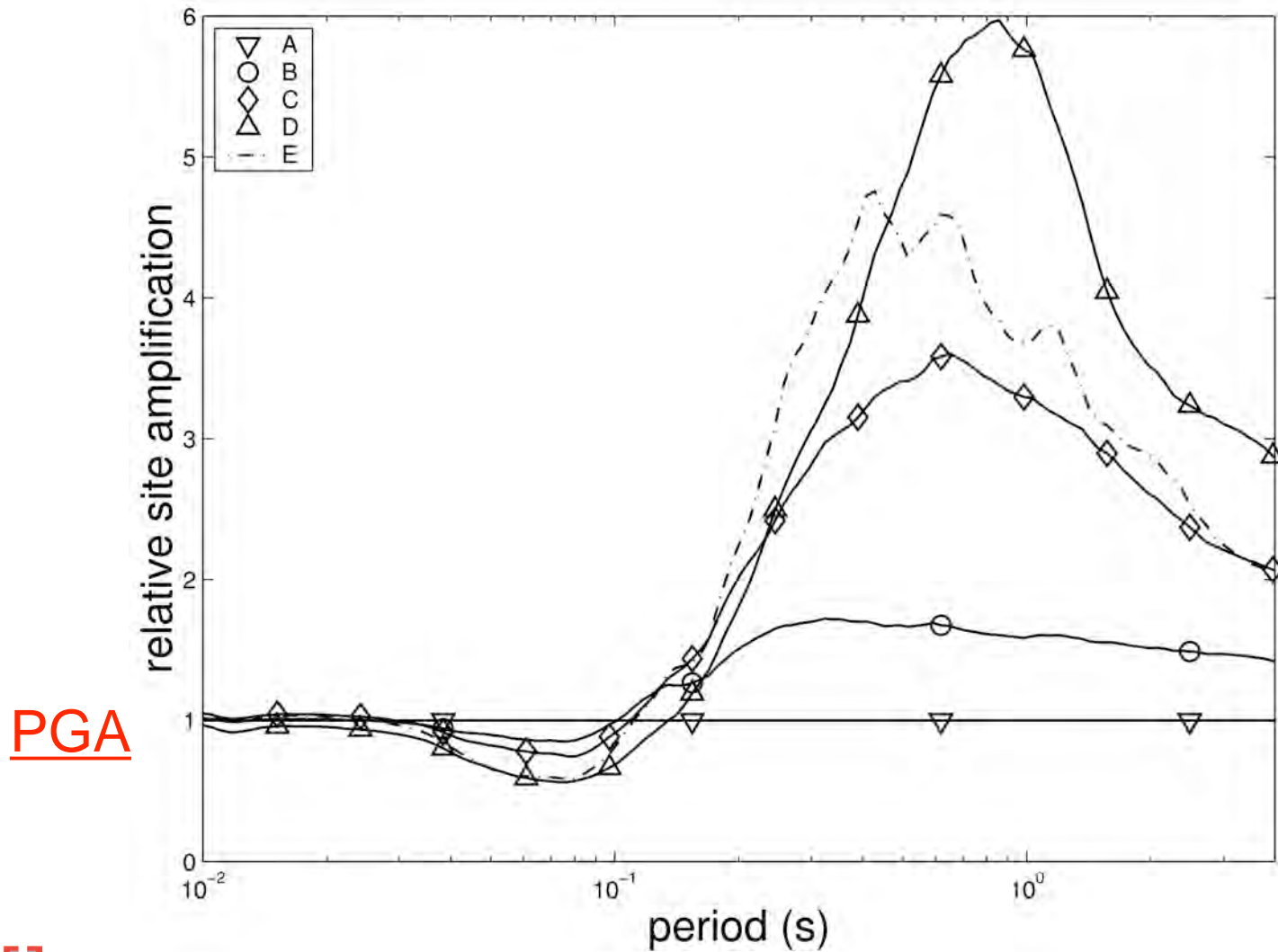


Pourquoi les effets de site sont-ils importants? (2)



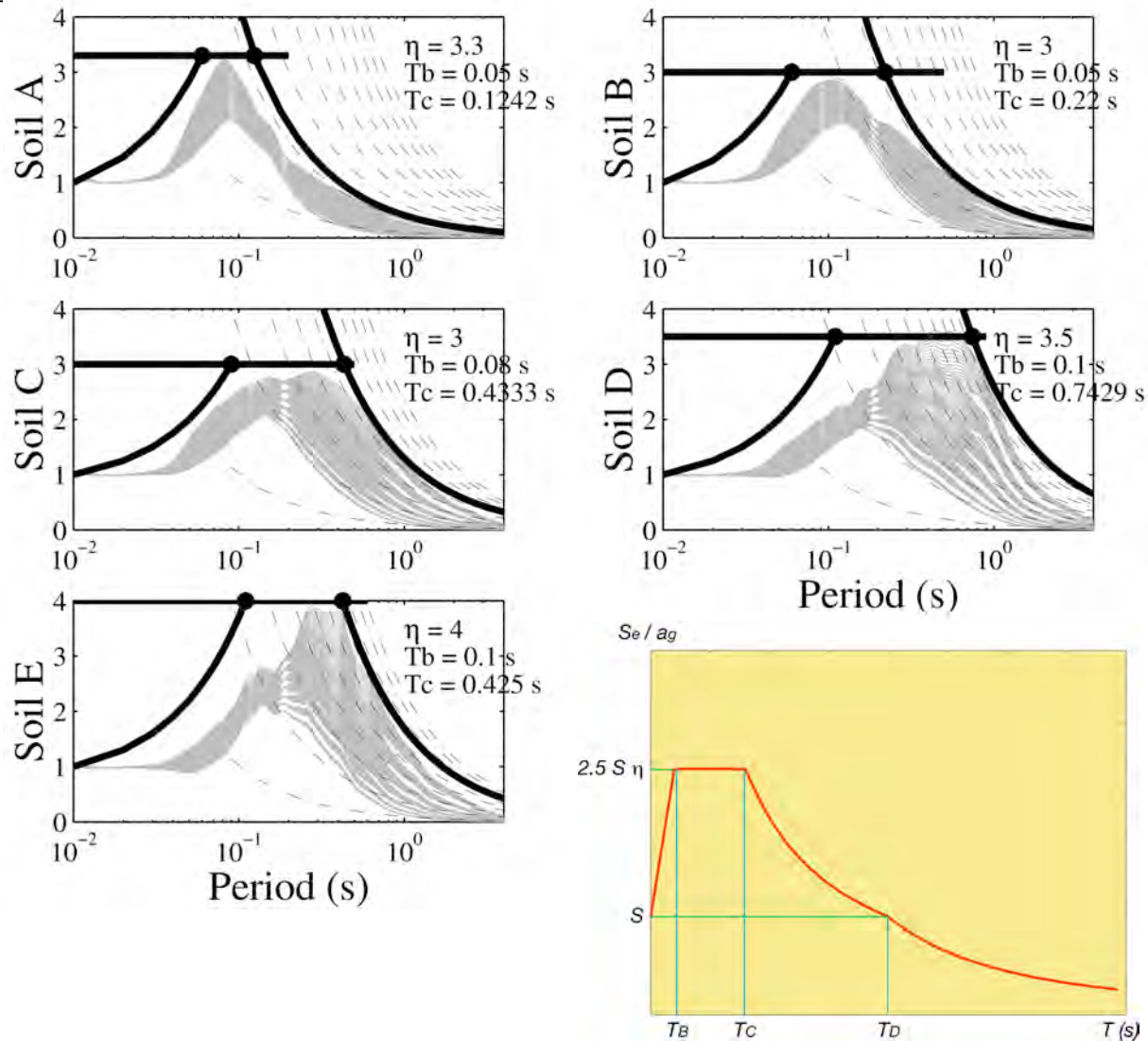
L'écart type est réduit

Résultats sur la base K-net (1)

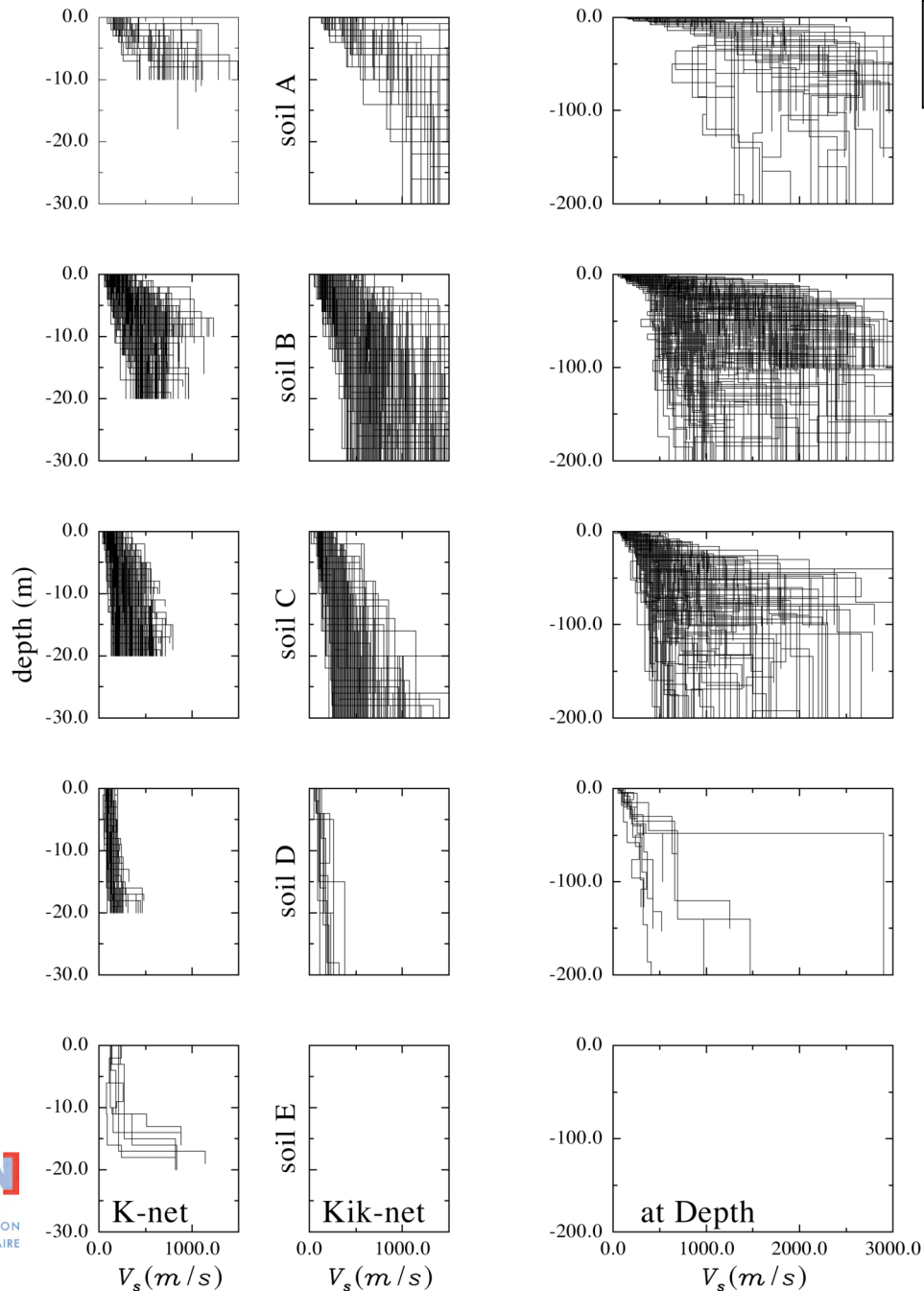


PGA peu sensible aux effets de site

Résultats sur la base K-net (2)



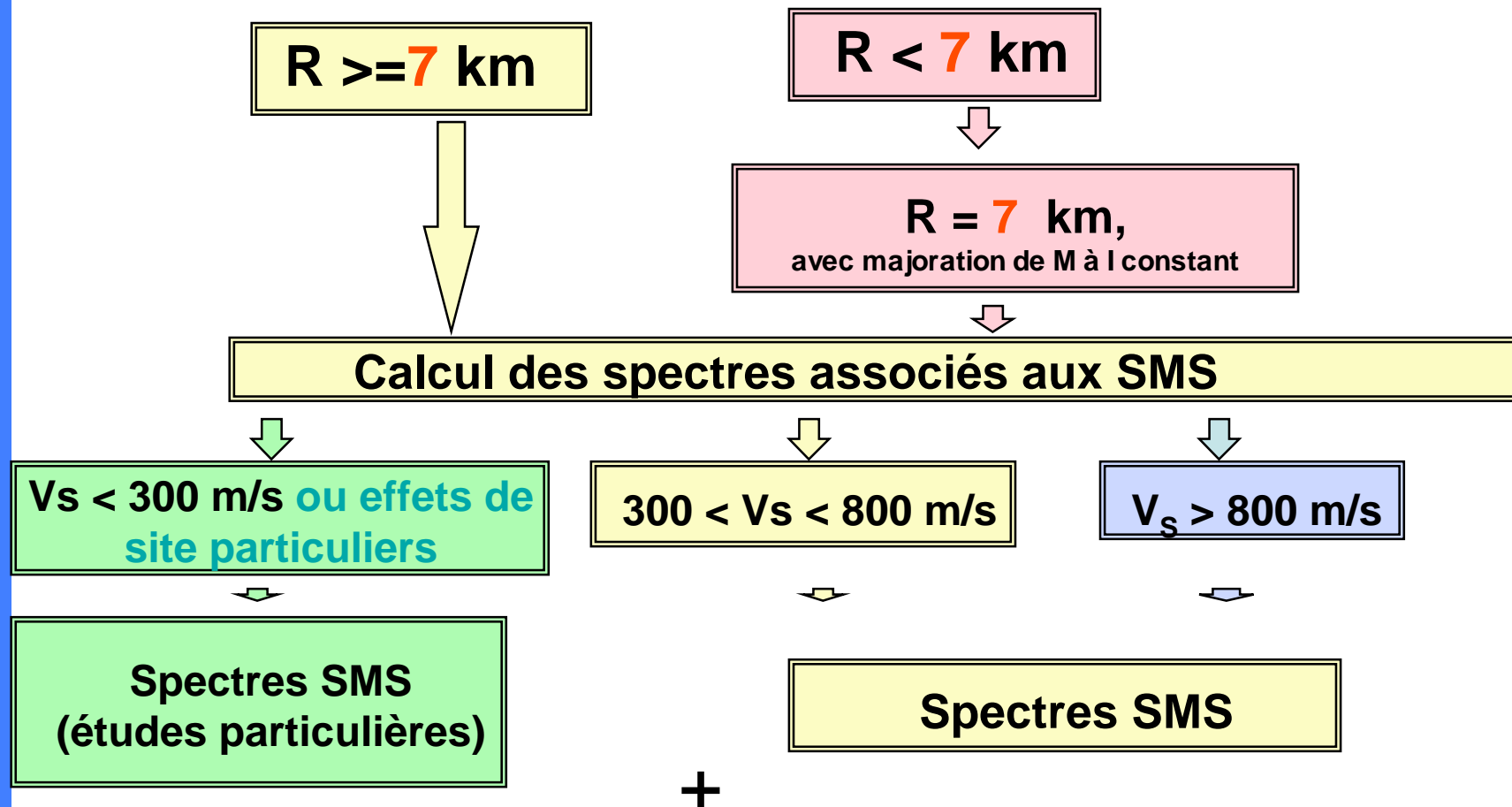
Incertitude de Vs30



- La variabilité dans chaque class de sol est très importante (Pousse, 2005)
- Cette variabilité est encore plus forte a profondeurs supérieures a 30 m
- Vs30 est-elle donc suffisant?

Retournons en Europe (2 types de sol)

CALCUL DU MOUVEMENT SISMIQUE (RFS 2001)

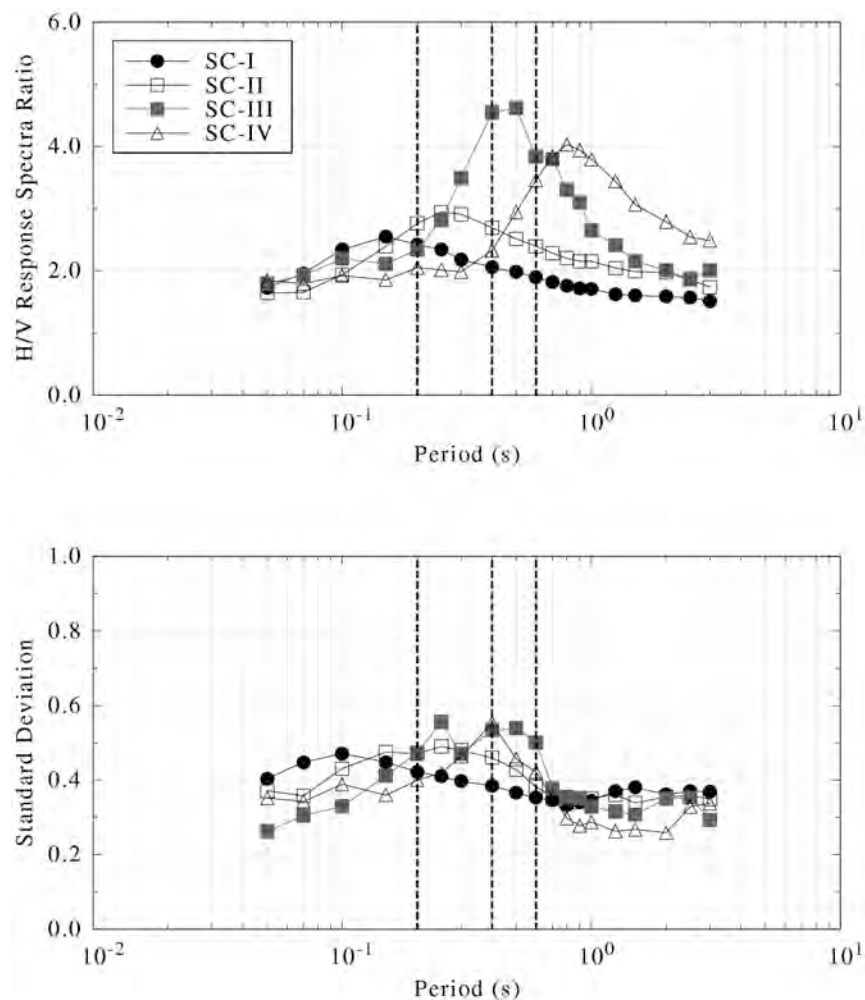


Autres paramètres du mouvement du sol : durée, accélérogrammes, **AN**, **CAV**...

La situation en Europe

- Méconnaissance de caractérisation des stations
- Classification surtout basée sur la géologie
- Classification générale en sédiments ($300 < V_{s30} < 800$ m/s) ou rocher ($V_{s30} > 800$ m/s)
- Réseaux accélérométriques pas suffisamment denses
- **Pouvons-nous mieux classifier nos stations?**

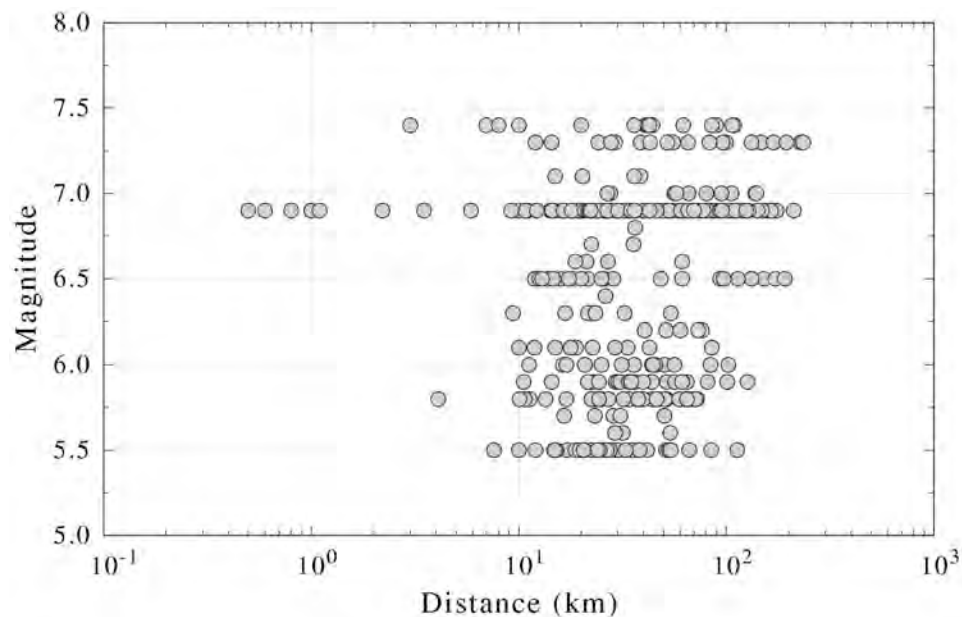
Encore le réseau K-net au Japon



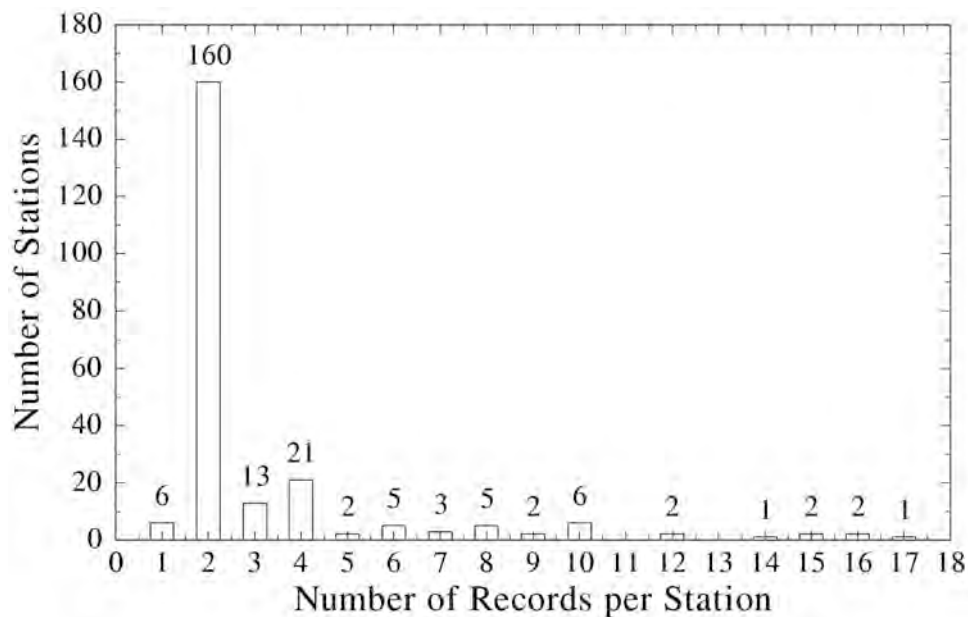
- Calcul du rapport H/V sur le spectre de réponse 5%
- Proposition de 4 types de sol en fonction de la période de résonance
- Calcul du rapport H/V moyen et son écart type pour chaque type de sol
- L'amplitude n'est pas importante, mais la période de résonance

Après Zhao et al (2006)

Encore l'Europe

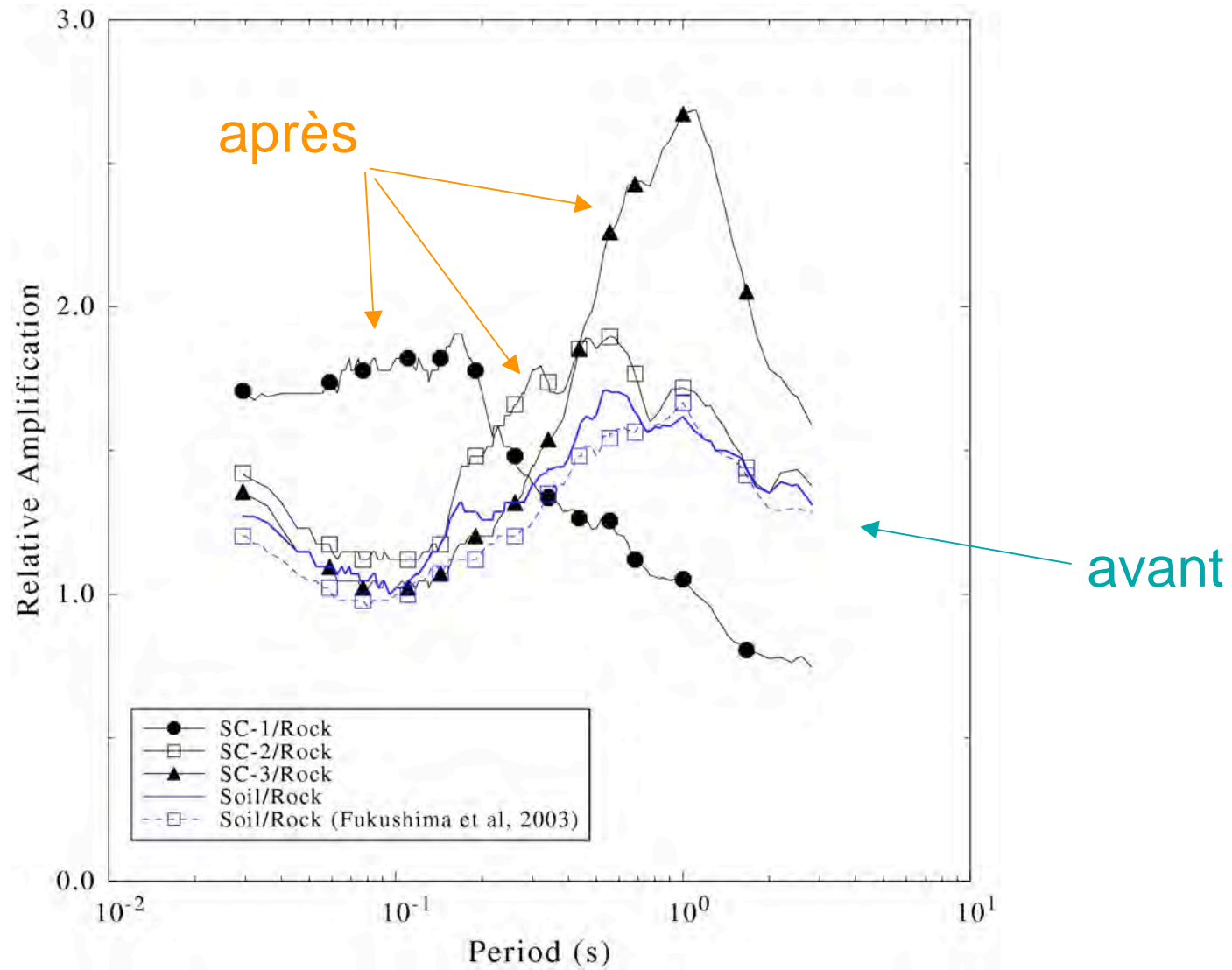


Banque de données enrichie avec séismes du Japon et d'USA



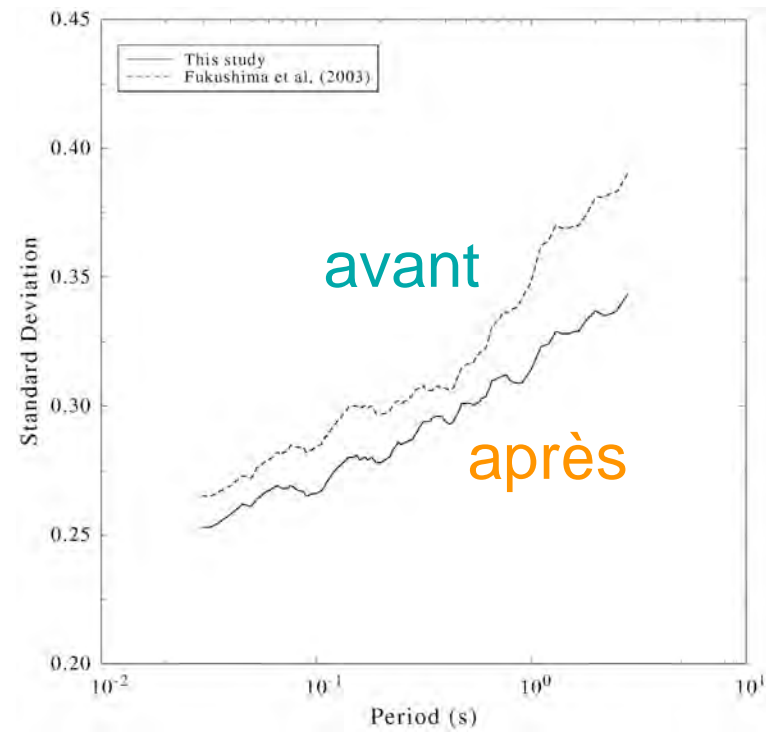
Nombre de enregistrements par station très faible. La grande majorité ont 2 enregistrements

Résultats préliminaires (1)



PGA sensible aux effets de site

Résultats préliminaires (2)



Conclusions préliminaires

1. Les effets de site contrôlent la forme final des spectres de réponse
2. V_{s30} n'est pas suffisante pour caractériser les sites
3. La période de résonance du site aide a une meilleur séparation des effets de site du spectre de réponse. De plus, cette classification est intuitive pour les ingénieurs de structures car elle montre davantage la période ou l'amplification est maximale
4. Cependant, sols avec des effets de site particuliers comme amplification large bande ne sont pas caractérisés avec cette classification