

LES COLONNES BALLASTÉES EN ZONE SISMIQUE

Keller Fondation Spéciales



www.keller-france.com
export@keller-france.com

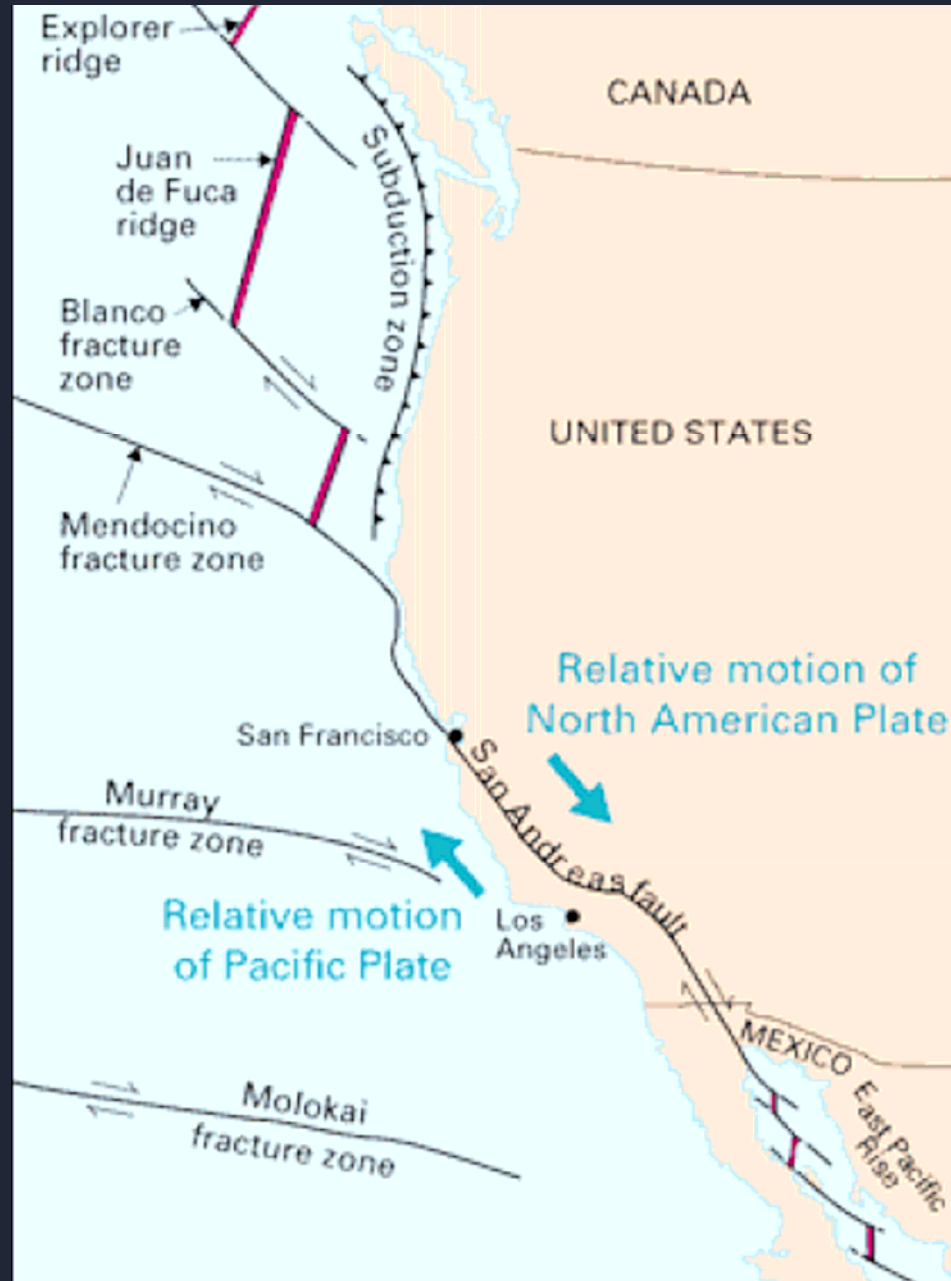
CFMS

Mercredi 14 mars 2007

- A. LE TREMBLEMENT DE TERRE DE NISQUALLY
 - 1. Situation et description du phénomène
 - 2. Désordres à Seattle et environs
 - 3. Portance et liquéfaction en zone sismique

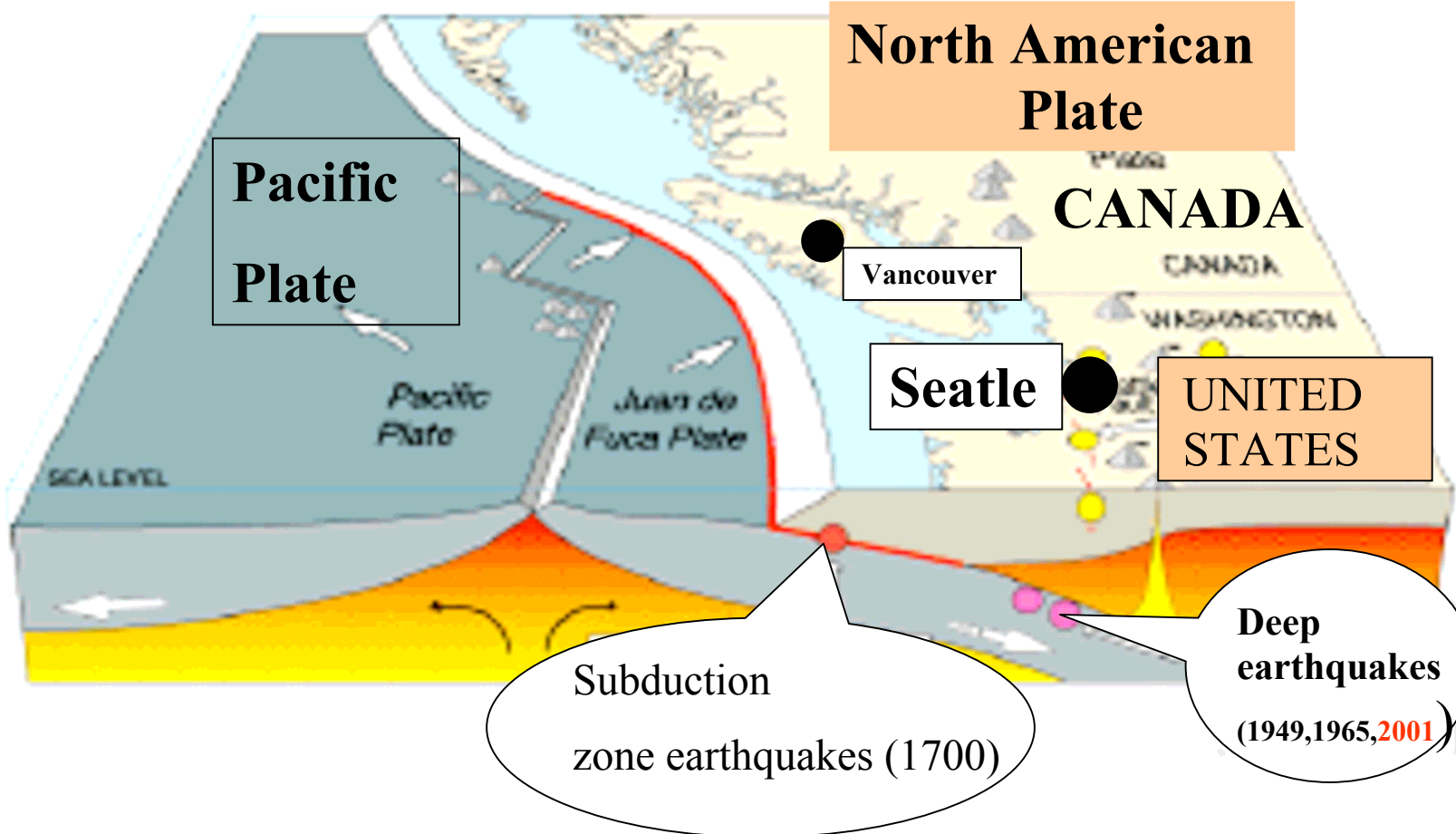
- B. POURQUOI LA COLONNE BALLASTEE EST ADAPTEES EN ZONE SISMIQUE ?

- C. 3 EXEMPLES D'OUVRAGES SUR COLONNES BALLASTEES
 - 1. Une surface commerciale de 12 000 m² à Seattle
 - 2. Un entrepôt de l'aéroport de KING COUNTRY INTERNATIONAL
 - 3. Une digue en terre au sud du lac Chaplian



Cascadia earthquake sources

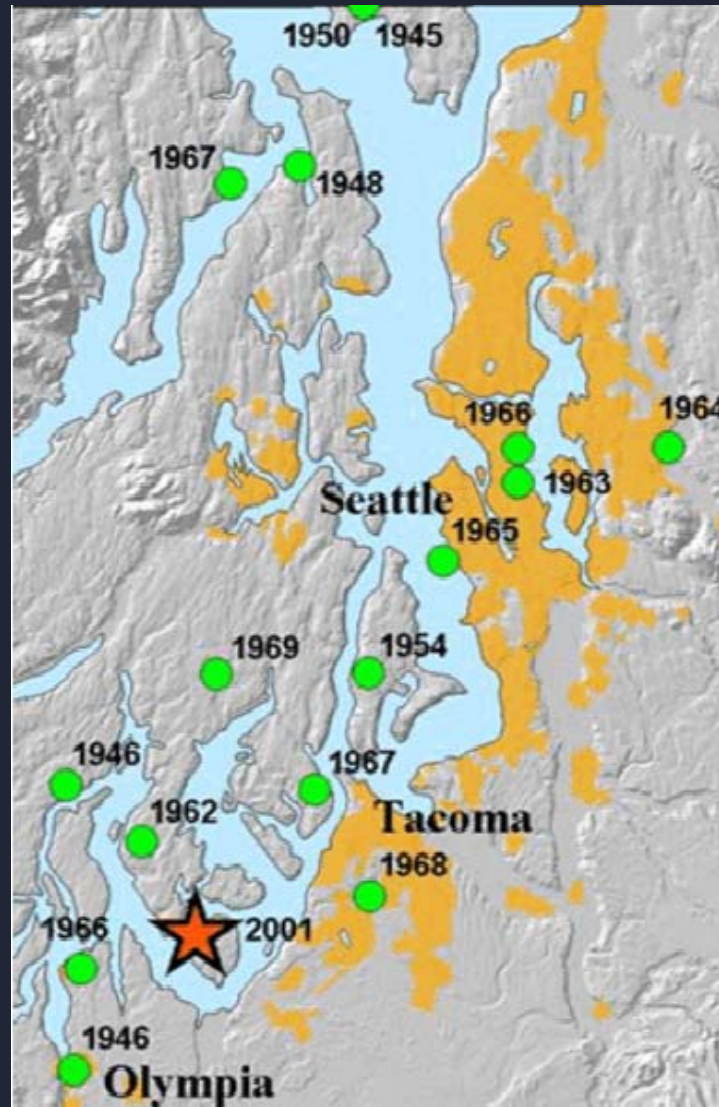
Keller Fondation Spéciales



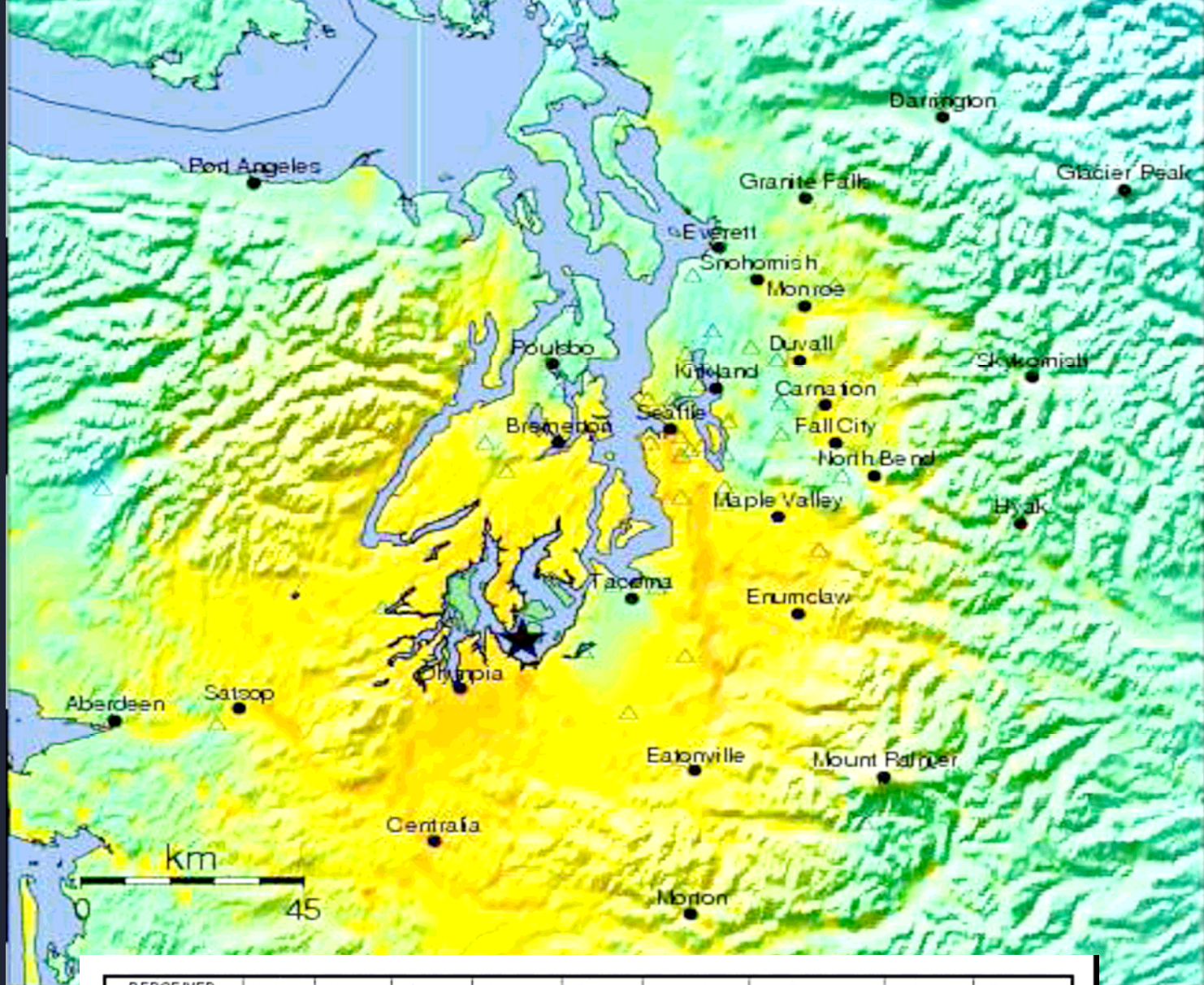
Source	Affected area	Max. Size	Recurrence
● Subduction Zone	W.WA, OR, CA	M 9	500-600 yr
● Deep Juan de Fuca plate	W.WA, OR,	M 7+	30-50 yr
● Crustal faults	WA, OR, CA	M 7+	Hundreds of yr?

Tremblement de terre de NISQUALLY

28 février 2001 MAGNITUDE 6,8 à 10H50



Keller Fondation Spéciales



PERCEIVED SHAKING	Not felt	Weak	Light	Moderate	Strong	Very strong	Severe	Violent	Extreme
POTENTIAL DAMAGE	none	none	none	Very light	Light	Moderate	Moderate/Heavy	Heavy	Very Heavy
PEAK ACC (%g)	<.17	.17-1.4	1.4-3.9	3.9-9.2	9.2-18	18-34	34-65	65-124	>124
PEAK VEL (cm/s)	<0.1	0.1-1.1	1.1-3.4	3.4-8.1	8.1-16	16-31	31-60	60-116	>116
INSTRUMENTAL INTENSITY	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X+

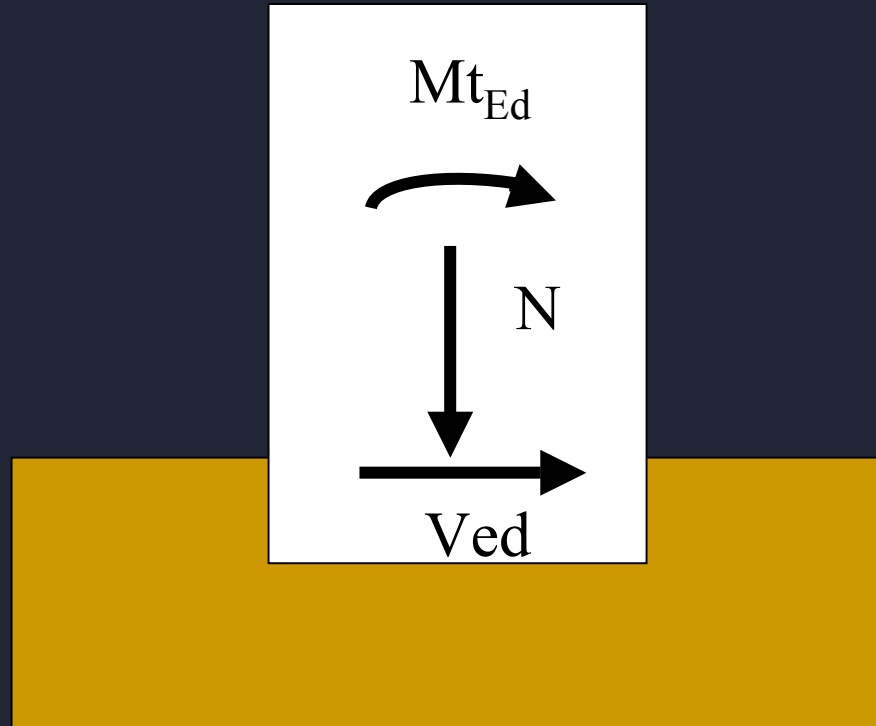
ESSENTIELLEMENT 3 PROBLEMES LORS D'UN SEISME

1) PERTE DE PORTANCE

2) DEFORMATION IMPORTANTE

3) LIQUEFACTION DU SOL

RUPTURE PAR PERTE DE PORTANCE



Transmettre N , V , Mt aux fondations

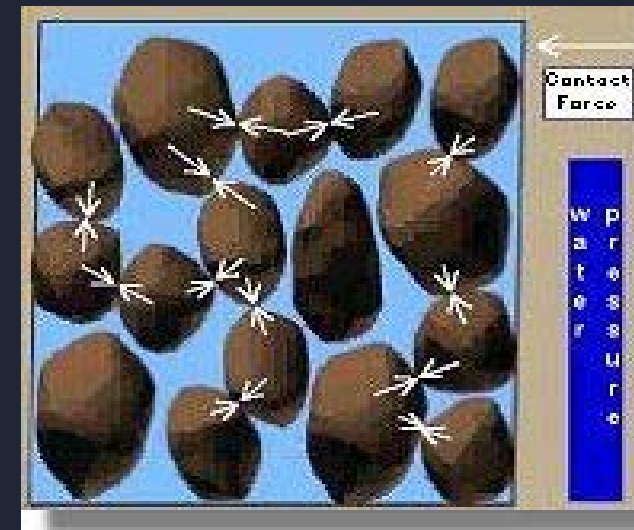
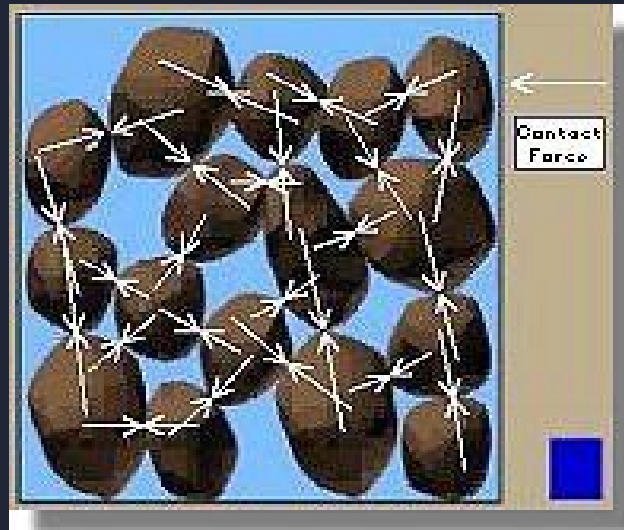
LIQUEFACTION DES SOLS

Les sols concernés

- **SABLES PROPRES LACHES SATURES**
mais aussi sables limoneux voire limons sableux
- Les sols suspects de liquéfaction sont identifiés selon les critères AFPS :
 - $S_r = 100\%$
 - $C_u = D_{60} / D_{10} < 15$ (coefficient d'uniformité de Hazen)
 - $0,05 \text{ mm} < D_{50} < 1,50 \text{ mm}$

LE PHENOMENE DE LIQUEFACTION DES SOLS

La description du phénomène



- Séisme
- Contraintes de cisaillement cycliques appliquées au sol
- Augmentation de la pression interstitielle
- Diminution des forces de contact entre les grains
- Forte réduction voire annulation brutale de la portance du sol



LIQUEFACTION



Aéroport de KING COUNTRY
INTERNATIONAL

Projection de sables sur la piste
centrale



Fissure de 35 m de long 3,5 cm d'ouverture et un décrochement de 5,5 cm

Aéroport de KING COUNTRY INTERNATIONAL



Aéroport de KING COUNTRY INTERNATIONAL



Effondrement du sol de 1,2 m et éjection du sable 11 m à côté

Aéroport de KING COUNTRY INTERNATIONAL

-





Sud du viaduc d'Alaska

Projection de sable sur un diamètre de 15 m environ.



Traverses cassées par le poids des wagons et la perte de portance



Ejection de sable entre les rails

Supermarché

-



Façade effondrée

-



Vitres cassées

-



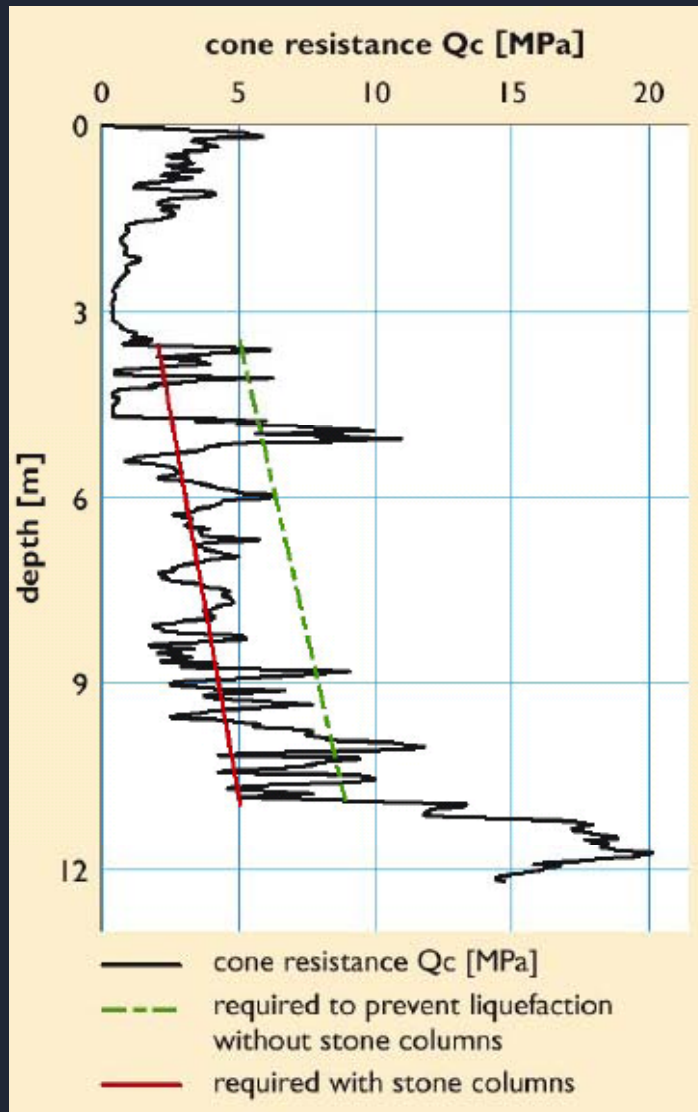
LA COLONNE BALLASTEE

- DRAINE POUR EVITER LA LIQUEFACTION
- AMELIORE LE SOL ENTRE COLONNE
- RENFORCE LE SOL PAR INCORPORATION DE MATERIAUX

 ~~LIQUEFACTION~~

 PORTANCE GARANTIE

POUR STABILISER UN SOL LORS D'UN SEISME LA COLONNE BALLASTEE



- **Renforcement de sol qui réalise un transfert de contraintes du sol vers les colonnes**

POUR STABILISER UN SOL LORS D'UN SEISME LA COLONNE BALLASTEE

RENFORCE LE SOL PAR INCORPORATION
DE MATERIAUX

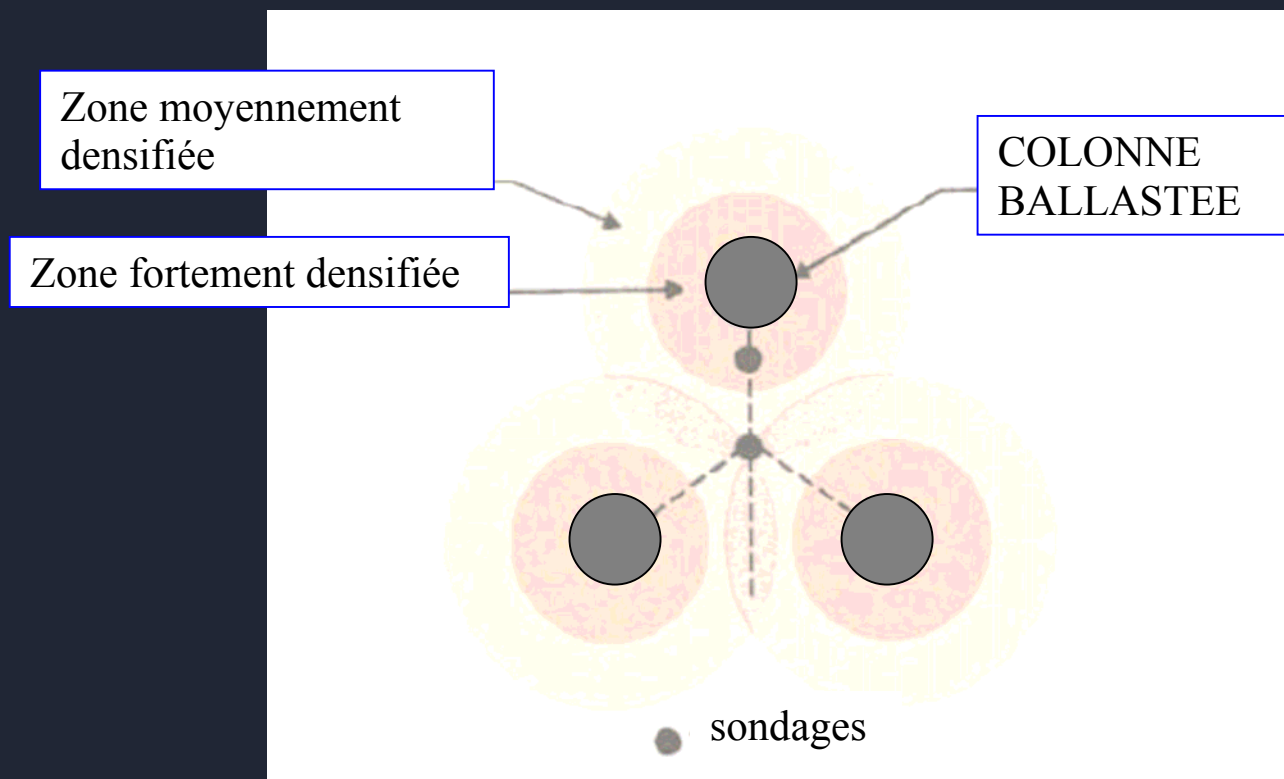


Table 1. Ground Improvement Site Data

Site No	Site Name	Lat, Long, City	Improvement Method	Project	Foundation	Soil Description and Pre-Improvement Properties	Post-Improvement Properties
1	ASARCO Tacoma Smelter OCF	N47.29937 W122.51022 Ruston, WA	Deep Dynamic Compaction under berm footprint	Containment facility embankment	n/a (earthen berm)	4m sand and gravel fill over 1-3m marine clayey silt underlain by glacial deposits. $N_{1,60cs}=9-121$ bpf in upper 5m. GWT 3m bgs	Upper 2m very dense, compaction not as effective in silt layer. increase in $N_{1,60cs}=1-13$ bpf in upper 5m
2	Ash Grove Cement Co. Storage Dome	N47.56950 W122.34047 Seattle, WA	VR Stone Columns to 7m depth, 3m beyond ring	Ring foundation storage dome	Shallow ring	2-3m silty sand fill over 1m soft sandy silt over up to 12m loose to med dense dark gray fine sand, $N=8-17$ bpf. GWT 2-3m bgs	No quantitative data available; improvement was effective at densifying loose sand
3	AT&T Wireless Services Tower	N47.19768 W122.21335 Sumner, WA	VR Stone Columns to 10m depth and 5m outside mat	Transmission tower base	Shallow mat	60cm fill over 8m very loose fine to med dense alluvial sand over med dense silty gravelly sand to 15m. $N=1-10$ bpf. GWT 3.7m bgs	$N = 4-28$ bpf. average increase of 5 bpf
4	1 st Avenue Bridge	N47.54 W122.34 Seattle, WA	Gravel drains (VR Stone Columns) to 12.2m depth	Structural earth wall for bridge	MSE wall mat	3m clayey silt fill over 1.5m silty fine sand fill over 5.8m loose to med dense clean to slightly silty fine sand grading to dense at depth. $N=2-17$ bpf	No data available
5	Home Depot	N47.57952 W122.33575 Seattle, WA	VR Stone Columns to 8m, lateral extent limited	Large plan commercial building	Shallow footings	1.5m med dense granular fill over 6-7m loose to med dense sand over dense sand, $N=5-15$ bpf. Dutch cone $q_c=30-50$ tsf. GWT 1.5m bgs	$N=23-28$ bpf. Dutch Cone $q_c=80-100$ tsf in between columns
6	Klickitat Avenue Overcrossing	N47.57623 W122.35624 Seattle, WA	VR Stone Columns to 12.2m depth under wall footprint	MSE wall overcrossing approach	MSE wall mat	3-5m loose to med dense clean to silty sand hydraulic fill over at least 34m alluvial sand grading from loose to dense. GWT 1.8-3.4m bgs	No data available
7	Lake Chaplain South Dam	N47.94452 W121.82931 Sultan, WA	VR Stone Columns to 18m, 15m by 52m area at toe of dam	Earthen dam toe	n/a (earthen dam)	Silty sand fill to 3.7m over 12 to 15m loose to med dense gravelly silty sand. $V_v=202-228$ m/s, $N=5-12$ bpf. GWT 6m bgs	BPTs performed but data not provided; adequate densification achieved
8	Novelty Bridge	N47.70918 W121.99651 Duvall, WA	VR Stone Columns outside sheet pile wall to 4m depth	Bridge abutment	Steel pipe piles enclosed in sheet pile wall	2m med stiff to soft sandy silt over 5.5m loose to dense sand with silt over med dense silty sand with silt interbeds. $N=1-9$ bpf	$N=8-23$ bpf
9	Pier 86 Grain Terminal	N47.63683 W122.37202 Seattle, WA	Vibroflotation to 8.5m depth, lateral extent unspecified	Grain silos	Shallow	Loose sand to 8.5m	Relative density of 85% and bearing capacity of 383 kPa (8,000 psf)
10	Site A	Seattle, WA	VR Stone Columns to 12m depth under grade beams and footings	2-story light moment resisting frame	Shallow footings and strip	1.5m loose silty fine sand fill over 24m alluvial soil, coarse to about 15 m, $N_{1,60}=3-24$ bpf in coarse unit. GWT 2-3m bgs	CPT q_c increase of 40 to 80 tsf

Table 2. Earthquake Performance Data

Site No	Site Name	Epicentral Distance	Nearest Strong Motion Recording, PGA, and Arias Intensity	Performance of Improved Area	Performance of Nearby Unimproved Areas	References
1	ASARCO Tacoma Smelter OCF	31 km NW	6 km SE; UW Univ. of Puget Sound, Tacoma Station on till (Qvt); 0.06g NS PGA; 46.2 cm/s EW AI	No ground displacement or signs of liquefaction	Loss of riprap and slag into the bay in low tide area 1 km from site	Doughton (1999), Hydrometrics (1997), Hydrometrics (2000), Kennedy/Jenks (undated)
2	Ash Grove Cement Co. Storage Dome	74 km N	4 km NE; UW Kimball Elementary Station on till (Qvt); 0.135g EW PGA; 21.6 cm/s EW AI	No ground displacement or signs of liquefaction; minor cracking in dome	Signs of liquefaction found in reclaimed areas within 3 km of the site	AGI Technologies (1997)
3	AT&T Wireless Services Tower	55 km N	15 km S; UW East Sheriff Precinct, Puyallup Station on soil (Qvr); 0.21g NS PGA; 50.75 cm/s EW AI	No ground displacement or signs of liquefaction	No ground displacement or signs of liquefaction	AGRA Earth & Environmental, Inc. (1998)
4	1 st Avenue Bridge	71 km N	7 km N; UW Kimball Elementary Station on till (Qvt); 0.135g EW PGA; 21.6 cm/s EW AI	No ground displacement or signs of liquefaction	No ground displacement or signs of liquefaction	Shannon & Wilson (1994)
5	Home Depot	76 km N	3.5 km NE; UW Univ. of Puget Sound, Tacoma Station on till (Qvt); 0.06g NS PGA; 46.2 cm/s EW AI	No ground displacement or signs of liquefaction, no structural damage	Ground cracks near edge of improved area, evidence of liquefaction within 1 km of site, structural damage to brick masonry buildings nearby	Campbell and Koelling (1993), Scott (1992), Hayward Baker (undated)
6	Klickitat Avenue Overcrossing	74 km N	3 km W; USGS West Seattle Fire Station on till (Qvt); 0.146g PGA mean	No ground displacement or signs of liquefaction, no damage to wall	Evidence of liquefaction within 2 km of the site	Shannon & Wilson (1997)
7	Lake Chaplain South Dam	152 km N	9 km S; UW Monroe Substation on silt; 0.155g NS PGA; 19.4 cm/s NS AI	No ground displacement or signs of liquefaction, no increased turbidity	Cracks in brick masonry of inlet structure	Bakke et al. (undated)
8	Novelty Bridge	114 km N	30 km S; UW Monroe Substation on silt; 0.155g NS PGA; 19.4 cm/s NS AI	No ground displacement or signs of liquefaction	No ground displacement or signs of liquefaction	HWA Geosciences (2000), King County Dept. of Transportation (1998)
9	Pier 86 Grain Terminal	81 km N	2 km E; UW Queen Anne Station on soil (Qva); 0.114g NS PGA; 31.7 cm/s NS AI	No ground displacement or signs of liquefaction	No ground displacement or signs of liquefaction	Vibroflotation Foundation Co. (1970)
10	Site A	73 km N	1 km E; UW King County Station on soil (Qva); 0.273g EW PGA; 76.6 cm/s EW AI	No ground displacement, signs of liquefaction, or structural damage	Evidence of liquefaction in runways and fields nearby, cracks in adjacent tiltup building	GeoEngineers (1999), GeoEngineers (2000)

COMMENT SE SONT COMPORTEES LES OUVRAGES SUR COLONNES BALLASTEES A SEATLE ?

3 OUVRAGES

1. Une surface commerciale de 12 000 m² à
Seattle
2. Un entrepôt de l'aéroport de KING COUNTRY
INTERNATIONAL
3. Une digue en terre au sud du lac Chaplian

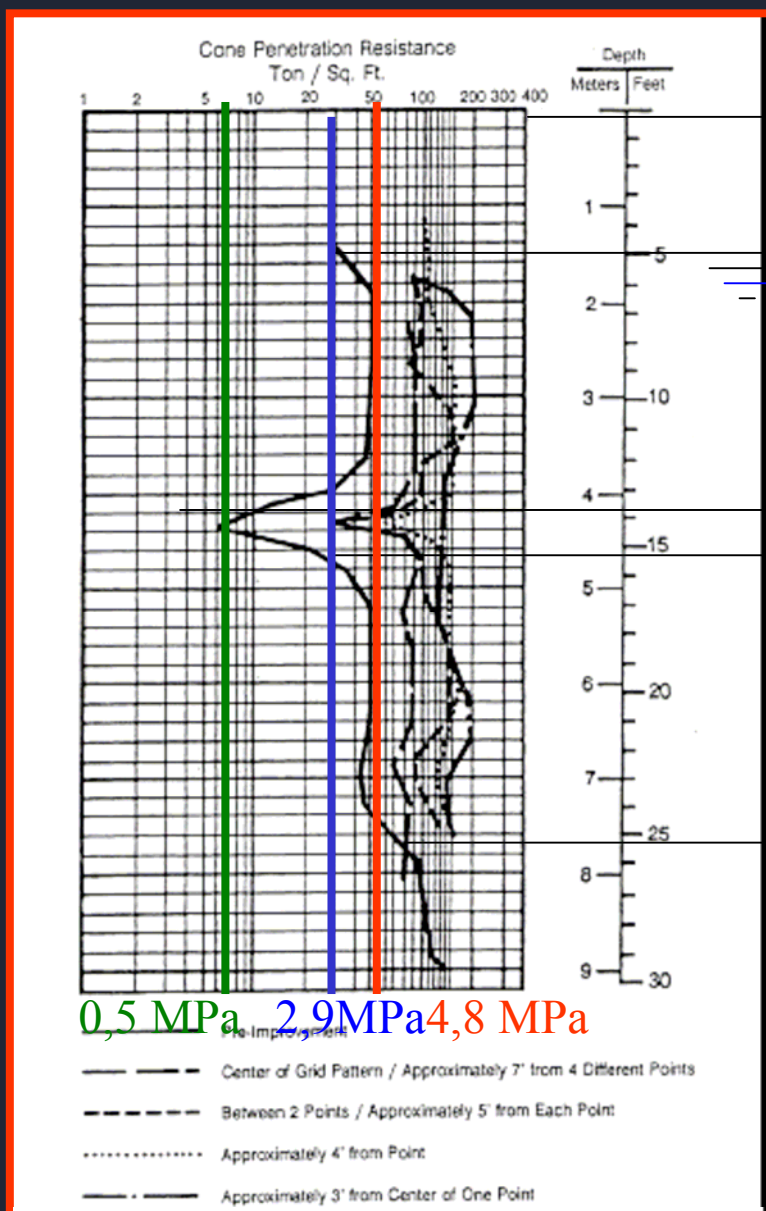
1^{er} EXEMPLE

Surface commerciale
HOME DEPOT
À
SEATTLE

Surface commerciale HOME DEPOT à Seattle

- * **Emplacement:** Intersection de l'avenue S. UTAH et de la rue SOUTH LANDER quartier SODO
- * **Année de construction :** 1992
- * **Type de bâtiment:** charpente béton encastrée en pied avec mur périphérique en maçonnerie
- * **Charges structures:** 54 t ponctuelle –
6,1 t/ml sous les murs
- * **Surcharge dallage :** 3,1 t/m²

Contexte géologique



Remblai graveleux
Sable propre 3 à 14 % de passant à 200µm liquéfiab
Sable limoneux liquéf.
Sable propre 3 à 14 % de passant à 200µm liquéfiab 7,60 m
Sable propre compact

HOME DEPOT à Seattle

OBJECTIF DU TRAITEMENT PAR CB

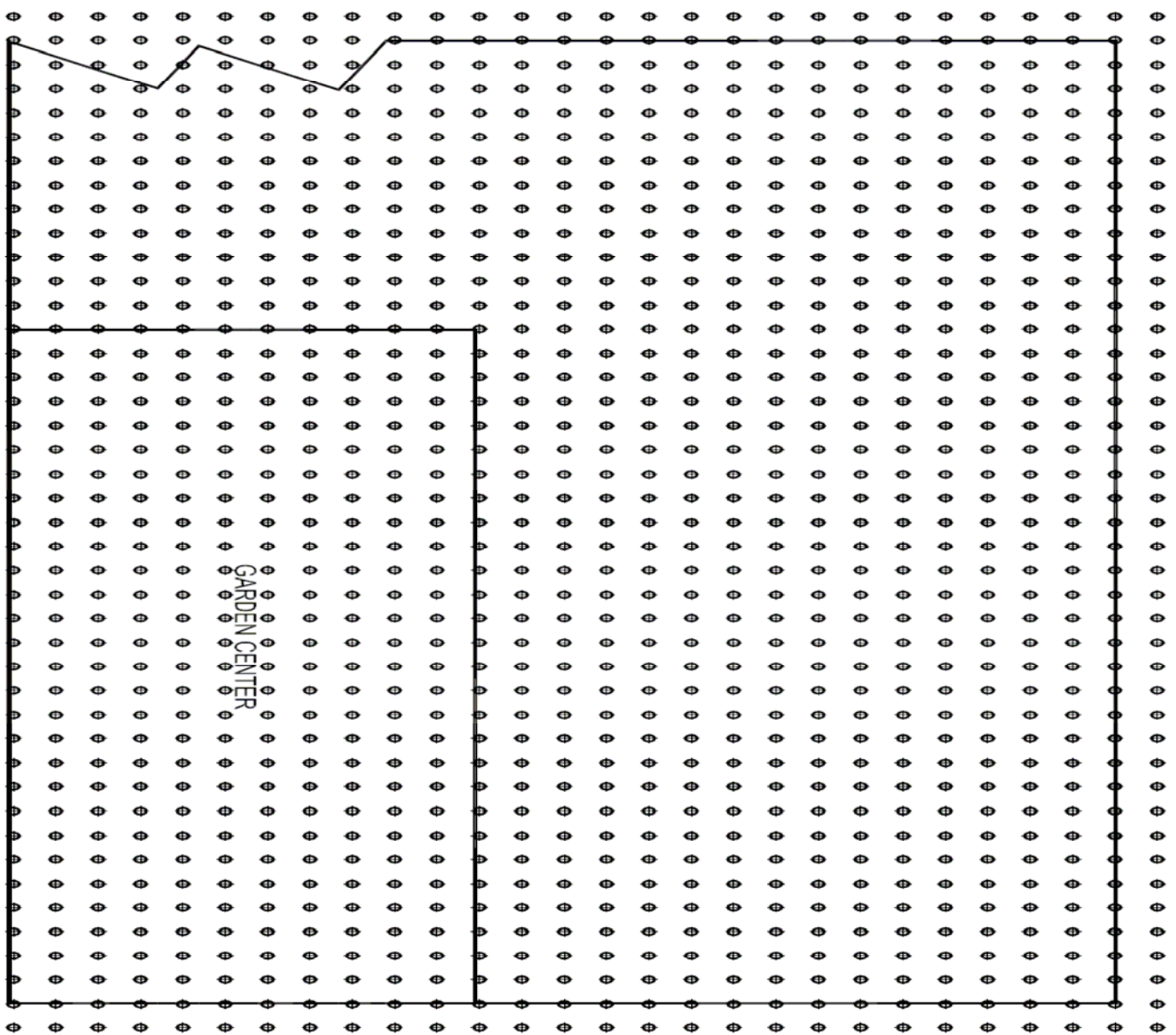
- LIMITER LES TASSEMENTS POUR LES CHARGES DE SERVICES (les semelles sont dimensionnées à 0,15 MPa): à 2,5 cm en absolu et 1,2 cm en différentiel
- SUPPRIMER LE RISQUE DE LIQUEFACTION
- LIMITER LES DEFORMATIONS DE L'OUVRAGE LORS D'UN SEISME

HOME DEPOT à Seattle

- CARACTERISTIQUES DU RENFORCEMENT DE SOL PAR CB
- Maille régulière de 3 x 3 m pour des colonnes de diamètre 0,90 m sur l'ensemble de l'ouvrage plus un débord de 3m
- Profondeurs des CB : 7,5 m
- Amélioration des sables propres $q_c > 8\text{MPa}$

HOME DEPOT à Seattle

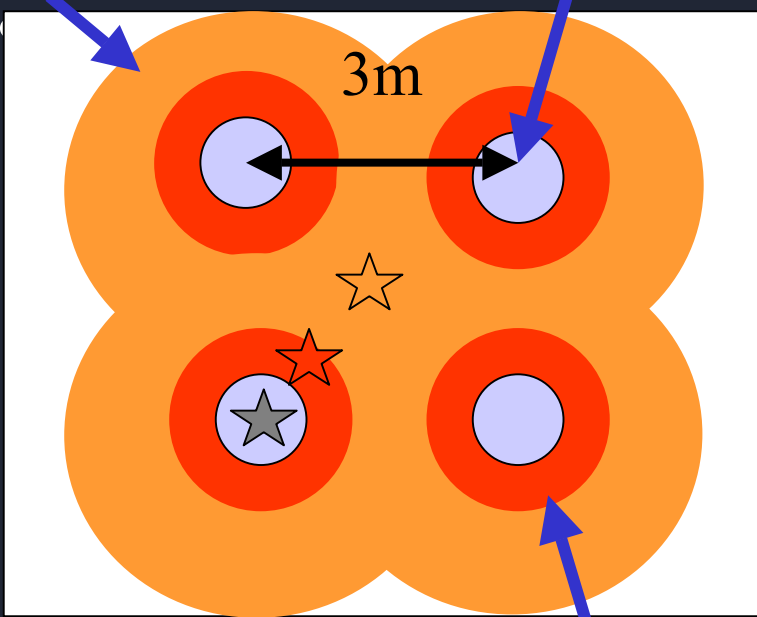
- Avenue UTAH -



HOME DEPOT à Seattle

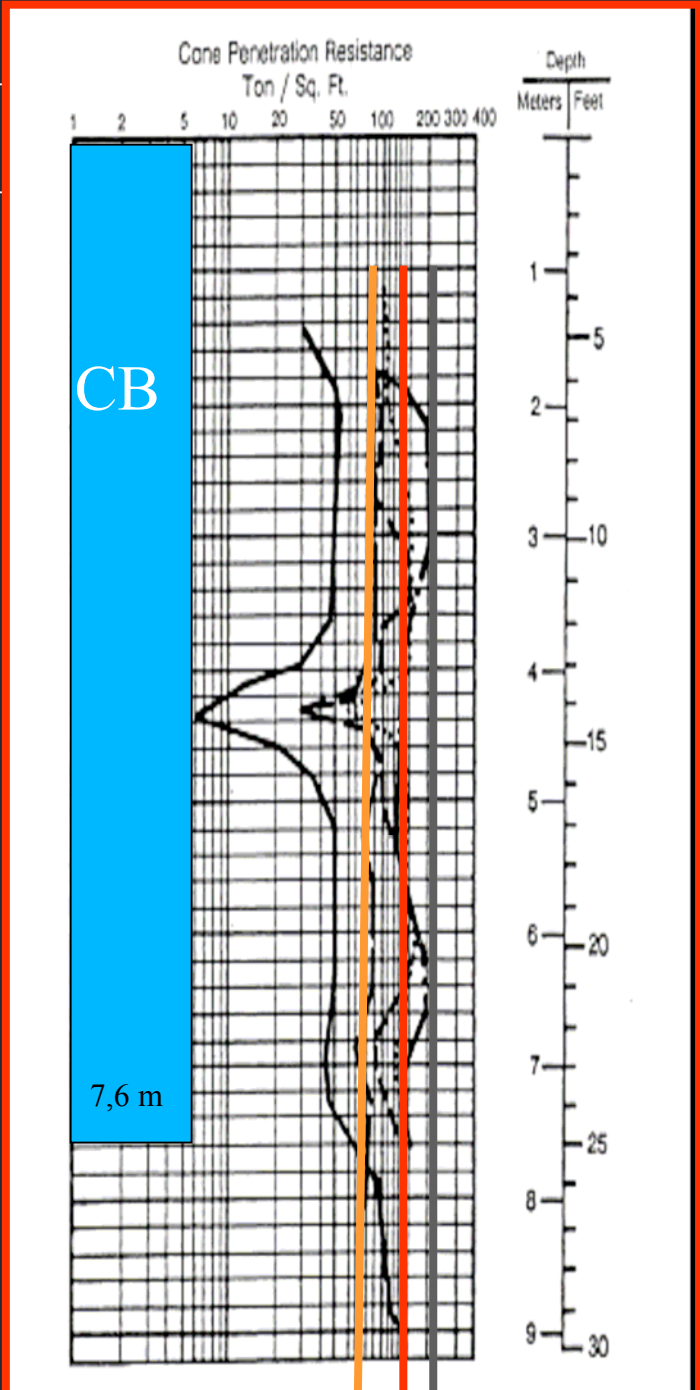
COLONNE BALLASTEE $q_c=19\text{MPa}$

Zone moyennement densifiée $q_c=9\text{Mpa}$



★ sondages

Zone fortement densifiée $q_c=12\text{MPa}$



HOME DEPOT à Seattle

COMPORTEMENT DE L'OUVRAGE DURANT LE SEISME

L'accélération mesurée dans la station la plus proche (Kimball Elementary) à 76 Km au nord de l'épicentre

EW : 0,135 g

NS : 0,092 g

UD : 0,047 g

Comportement de l'ouvrage

- La surface commerciale n'a pas été endommagée et elle a pu rouvrir rapidement quelques jours après
- Aucune fissure dans les murs ni dans le dallage. Pas de désafleurement au niveau des joints de dallage

HOME DEPOT à Seattle

Par contre en dehors
de la zone traitée:

Une fissure de 10 à
15 mm d'ouverture et
de 19 m de long est
apparue coté avenue
de Utah en limite de
la zone traitée



HOME DEPOT à Seattle

- DEGATS DANS LES OUVRAGES MITOYENS
- Au niveau de l'avenue de UTAH: des bosses et fissures dans la chaussée (ouverture de 10 à 20 mm et 50 m long.)
- Dans les commerces à voisins: soulèvement du dallage durant le séisme, rupture de canalisations d'eau, dallage fissuré avec désaffleurements importants.
- Effondrements des murs dans certains immeubles voisins

2^{eme} EXEMPLE

Entrepôt
de l'aéroport de
KING COUNTRY
INTERNATIONNAL

Entrepôt de l'aéroport de KING COUNTRY INTERNATIONAL

- * **Emplacement:** aéroport de KING COUNTRY INTERNATIONAL
- * **Année de construction :** 2 000
- * **Type de bâtiment:** entrepôt
charpente encastrée en pied avec mur périphérique en maçonnerie
- * **Charges structures:** 48 t ponctuelle –
7 à 12 t/ml sous les murs
- * **Surcharge dallage :** aucune charge sur le dallage lors du tremblement (bâtiment pas en service)

Contexte géologique

1,50 m	Remblai sablo-limoneux
<u>2,9 m</u> -	Alternance de lentilles sableuses et sablo-limoneuses $3 < N < 24$ avec N moyen de 12
	Coquillage et matière org. 8,4-9,6 m
14,8 m	Limons sableux bruns
	Limon mou avec quelques passages sableux
24,0 m	<u>23,0 m</u> gravier
29,7 m	Conglomérat compact
	Rocher

Le Géotechnicien de GEO ENGINEER ont identifié les problèmes suivants:

- un **risque élevé** de liquéfaction entre 2,7 et 8,4 m
- un **risque faible** de liquéfaction de 8,4 à 24 m
- des tassements de **20 à 25 cm** lors d'un séisme

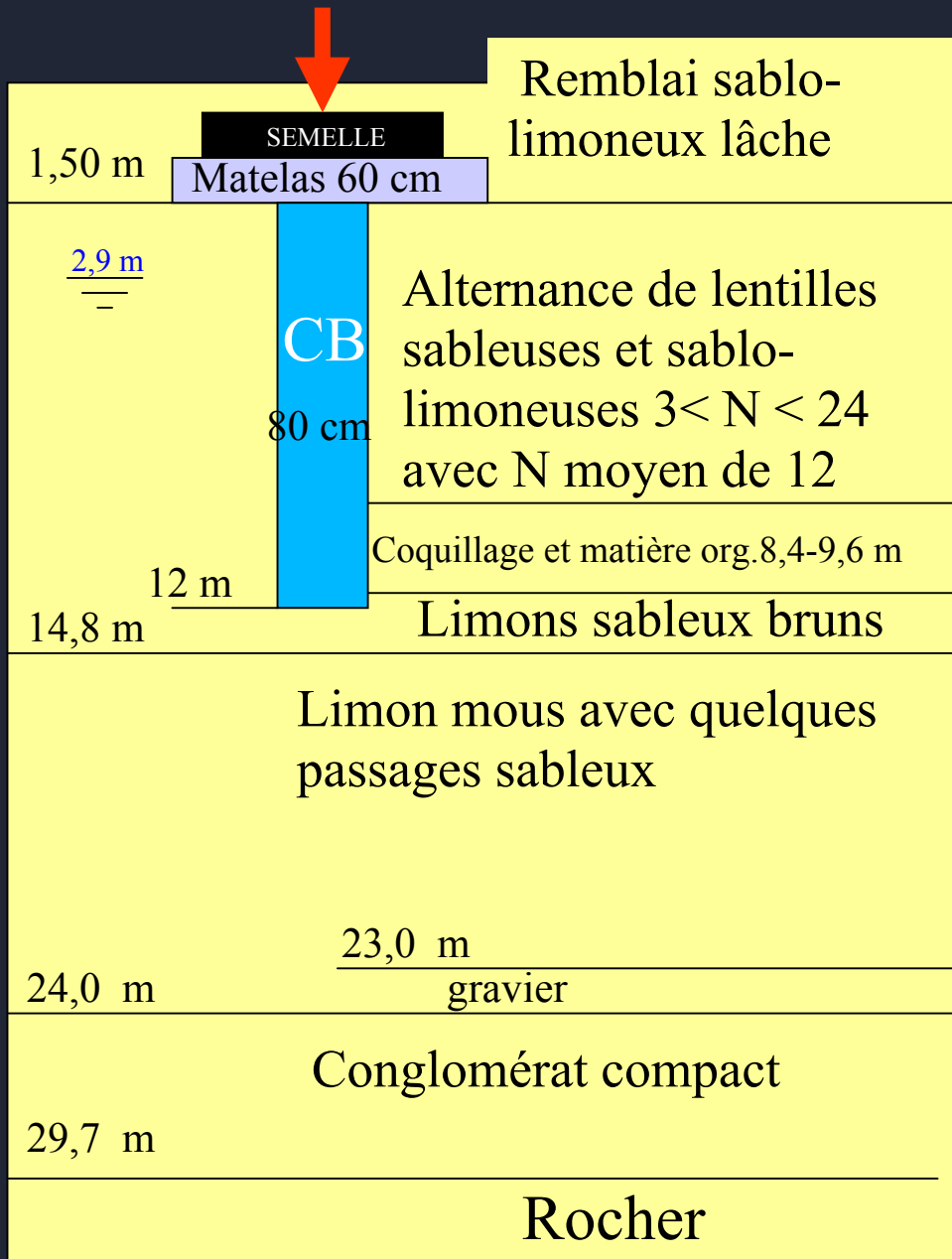
OBJECTIFS DU TRAITEMENT PAR CB

- 1) PORTANCE de 0,12 MPa aux ELS
- 2) LIMITER LES TASSEMENTS DE L'OUVRAGE LORS D'UN SEISME

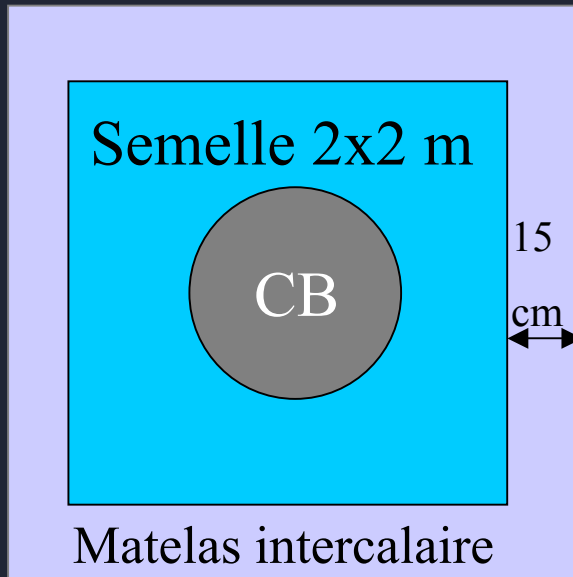


Aéroport KING COUNTRY INTERNATIONNAL

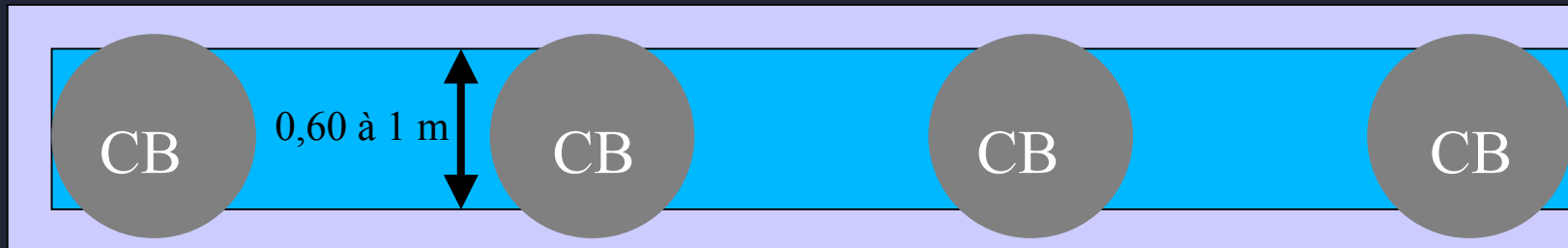
CARACTERISTIQUES DU RENFORCEMENT DE SOL



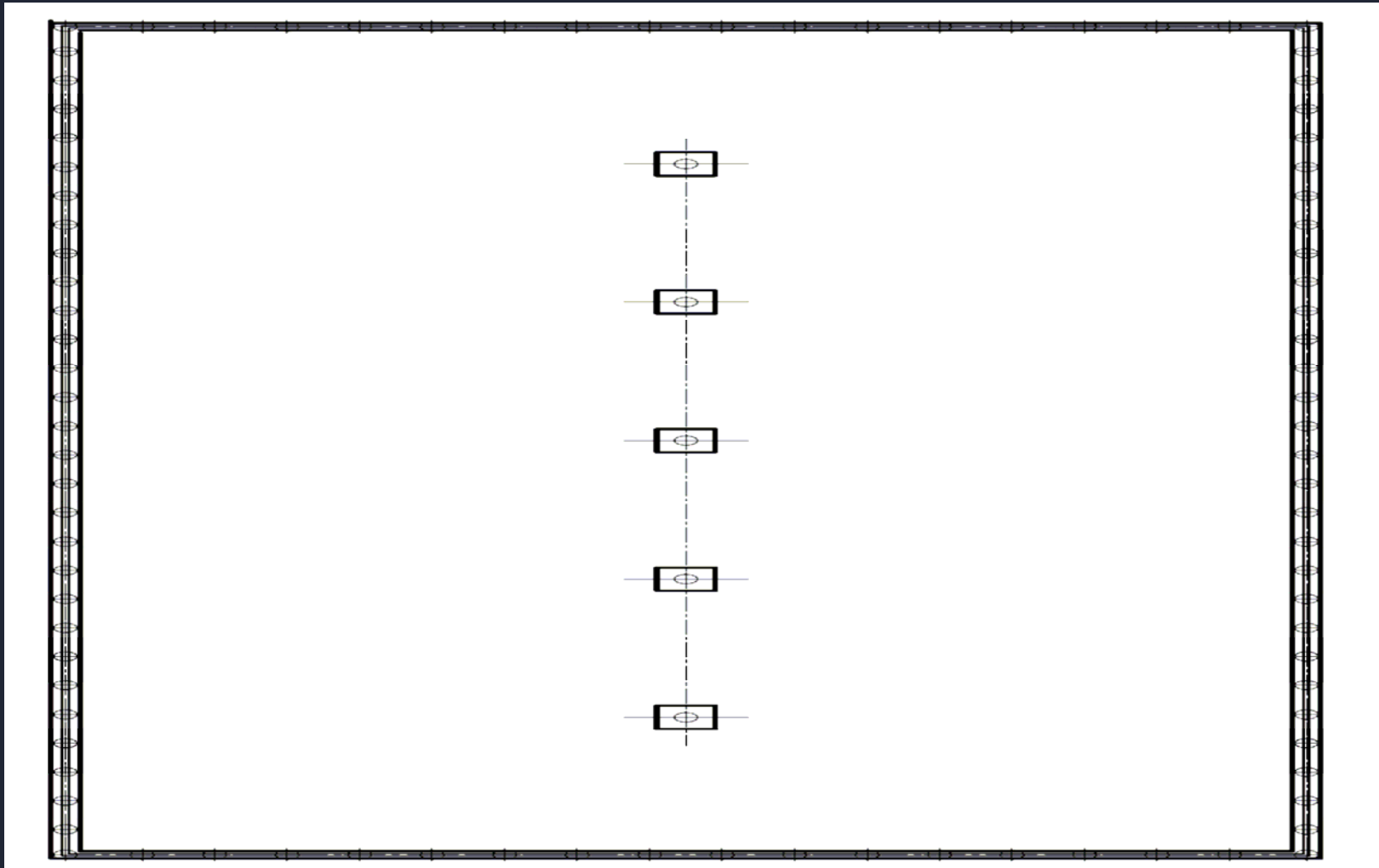
- Plan d'implantation des CB



Colonne ballastées diamètre 76 cm uniquement sous structure



- PLAN D'IMPLANTATION DES COLONNES



Avant traitement

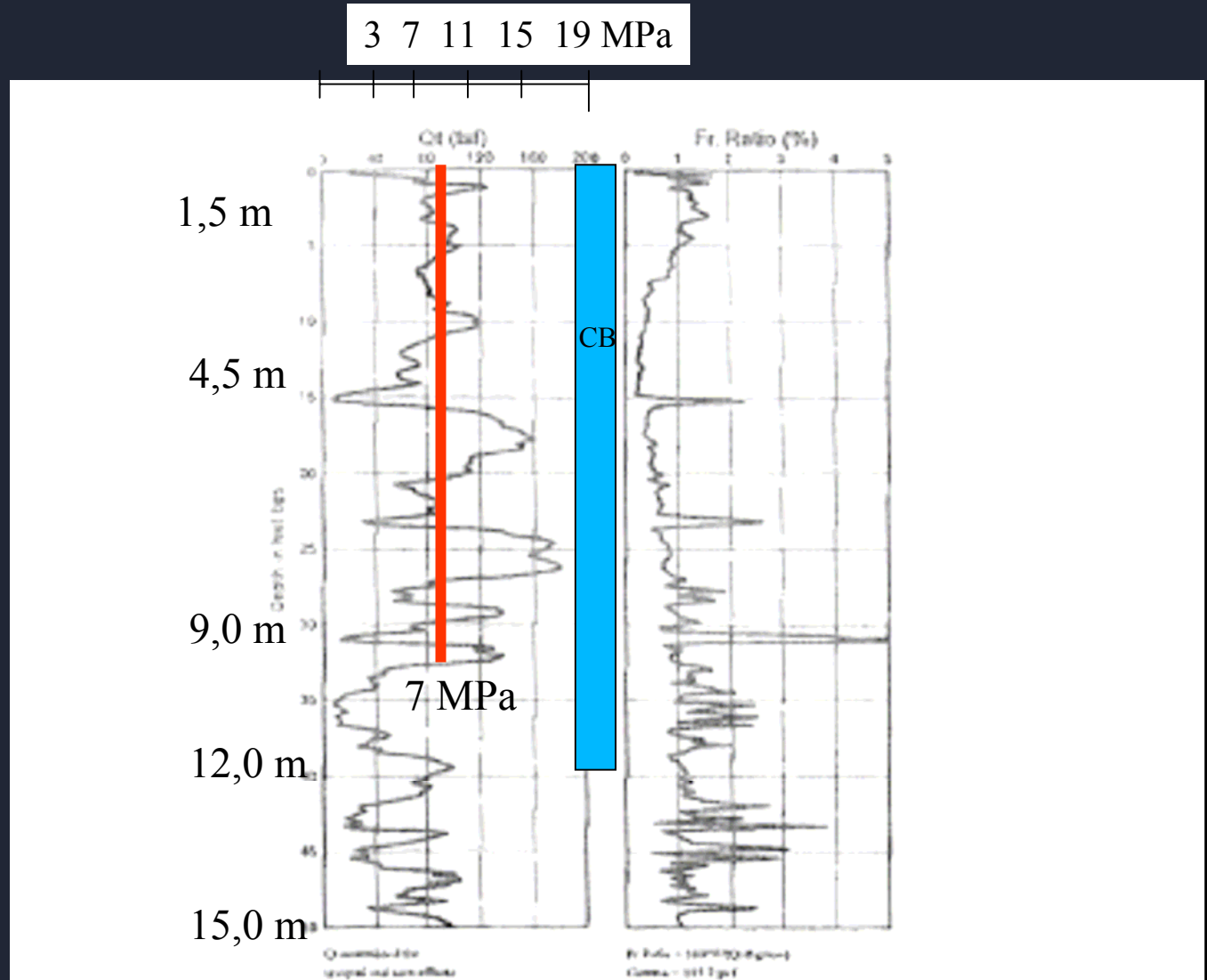


Fig. 4. Cone penetration testing before ground improvement (GeoEngineers, Inc., 2000)

Après traitement

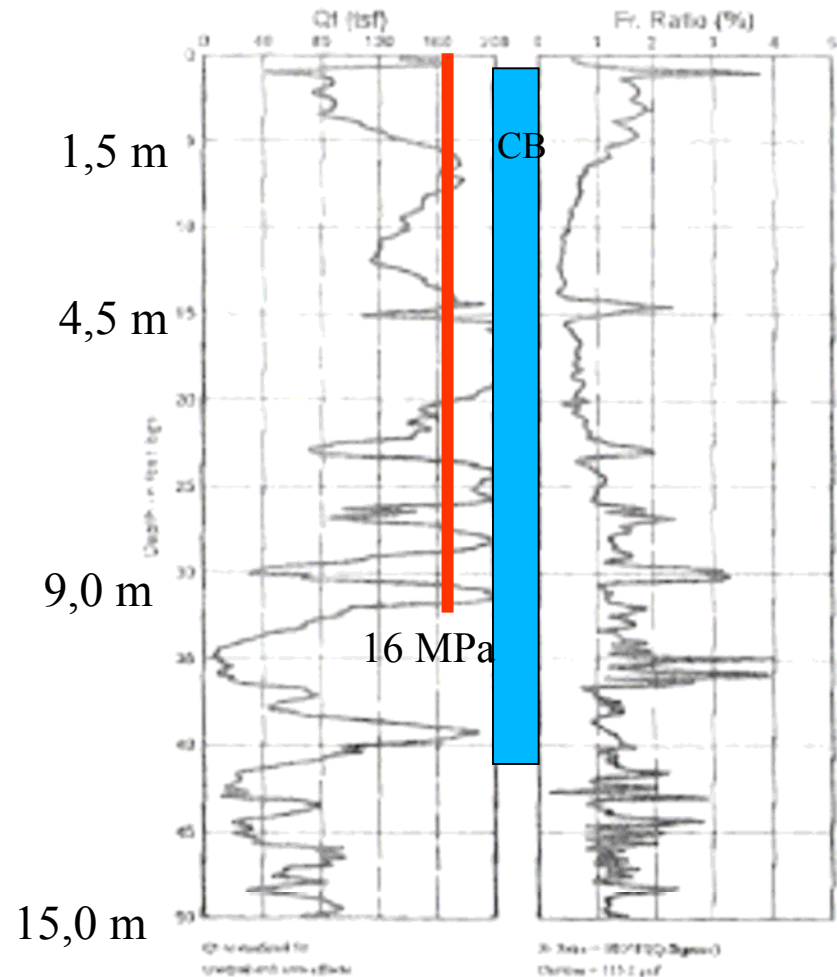


Fig. 5. Cone penetration testing after ground improvement (GeoEngineers, Inc., 2000)

COMPORTEMENT DE L'OUVRAGE DURANT LE SEISME

- L'accélération mesurée dans la station la plus proche (de l'aéroport) à 73 Km au nord de l'épicentre
- EW : 0,273 g
- NS : 0,170 g
- UD : 0,078 g

Comportement de l'ouvrage durant le séisme

Absence de désordres: aucune fissure dans les murs et dans le dallage

Comportement des ouvrages mitoyens

- Murs fissurés Hangar voisin fondé de manière superficielle sans CB
- Fissures dans les pistes d'accès et remontée de sables liquéfiables

3^{eme} EXEMPLE

DIGUE EN TERRE
AU SUD DU LAC CHAPLIAN

Digue en terre au sud du lac Chaplian


- **Emplacement:** forêt national de SNOQUALMIE

- * **Année d'achèvement :** 1945

- * **Caractéristiques de la digue:**
 - hauteur : 12,2 m
 - longueur : 274 m
 - largeur en crête : 18 à 24 m

Digue en terre au sud du lac Chaplian

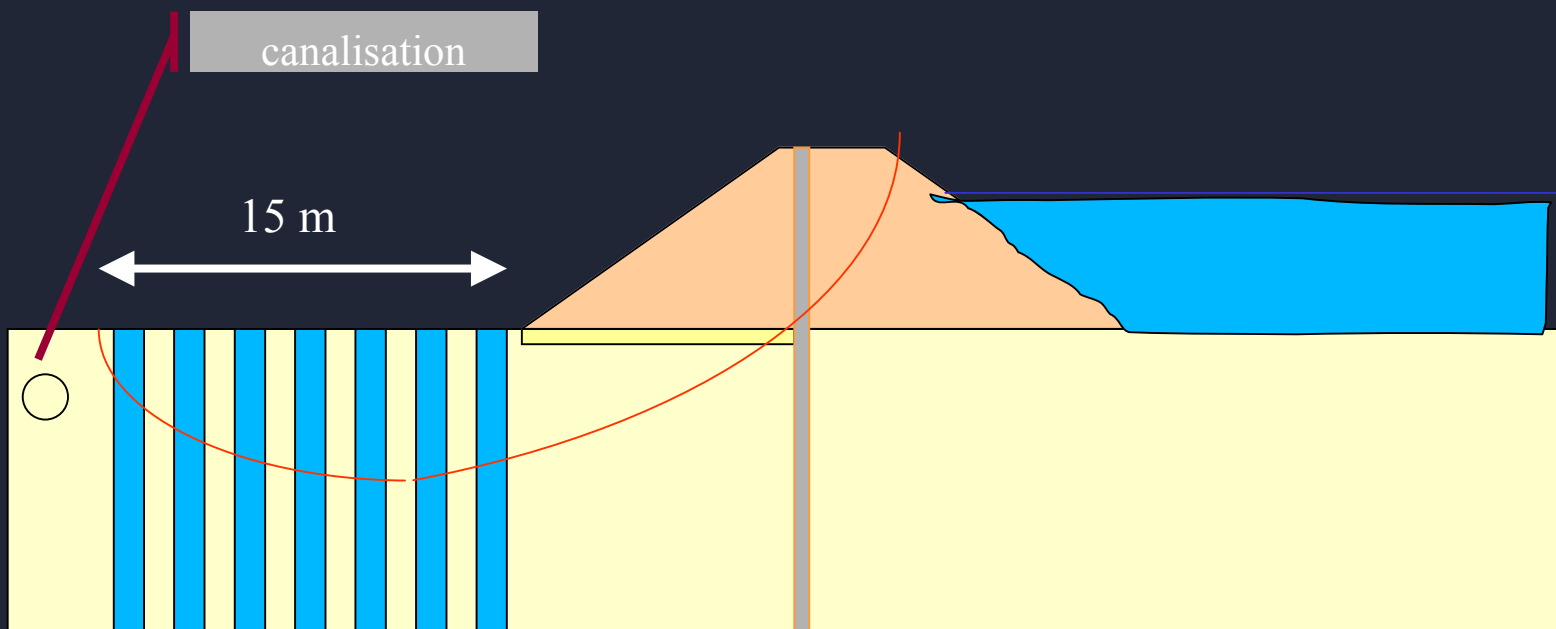
Contexte géologique

3,7 m	Sable limoneux graveleux lâche
6,1 m	Gravier avec lentilles sablo limoneuses moyennement dense $5 < N < 12$
 9,1 m	Gravier avec lentilles sablo limoneuses lâche $5 < N < 12$
12,2 m	Sable lgt limoneux et graveleux liquéfiable
19,0 m	Gravier avec lentilles limoneuses lâche $5 < N < 12$
28,0 m	Sable limoneux compact

Digue en terre au sud du lac Chaplian

- PROBLEME
- Risque élevé d'une rupture de la digue lors d'un séisme : mis en évidence par une étude probabilistique et une analyse de déformation avec FLAC 3D (Bakke et al.)

Digue en terre au sud du lac Chaplian



Caractéristiques du traitement:

Maille triangulaire 2,1 x 2,1 m

Diamètre de colonnes : 1 à 1,2 m

Profondeur: 19 m

Surface de traitement: 15 m de large et 52 m de long

Digue en terre au sud du lac Chaplian

Renforcement par CB uniquement à gauche de la tour



Digue en terre au sud du lac Chaplian

COMPORTEMENT DE L'OUVRAGE DURANT LE SEISME

- L'accélération mesurée dans la station la plus proche (MONROE SUBSTATION) à 152 Km au nord de l'épicentre
- EW : 0,120 g
- NS : 0,155 g
- UD : 0,050 g

Digue en terre au sud du lac Chaplian

Comportement de l'ouvrage durant le séisme

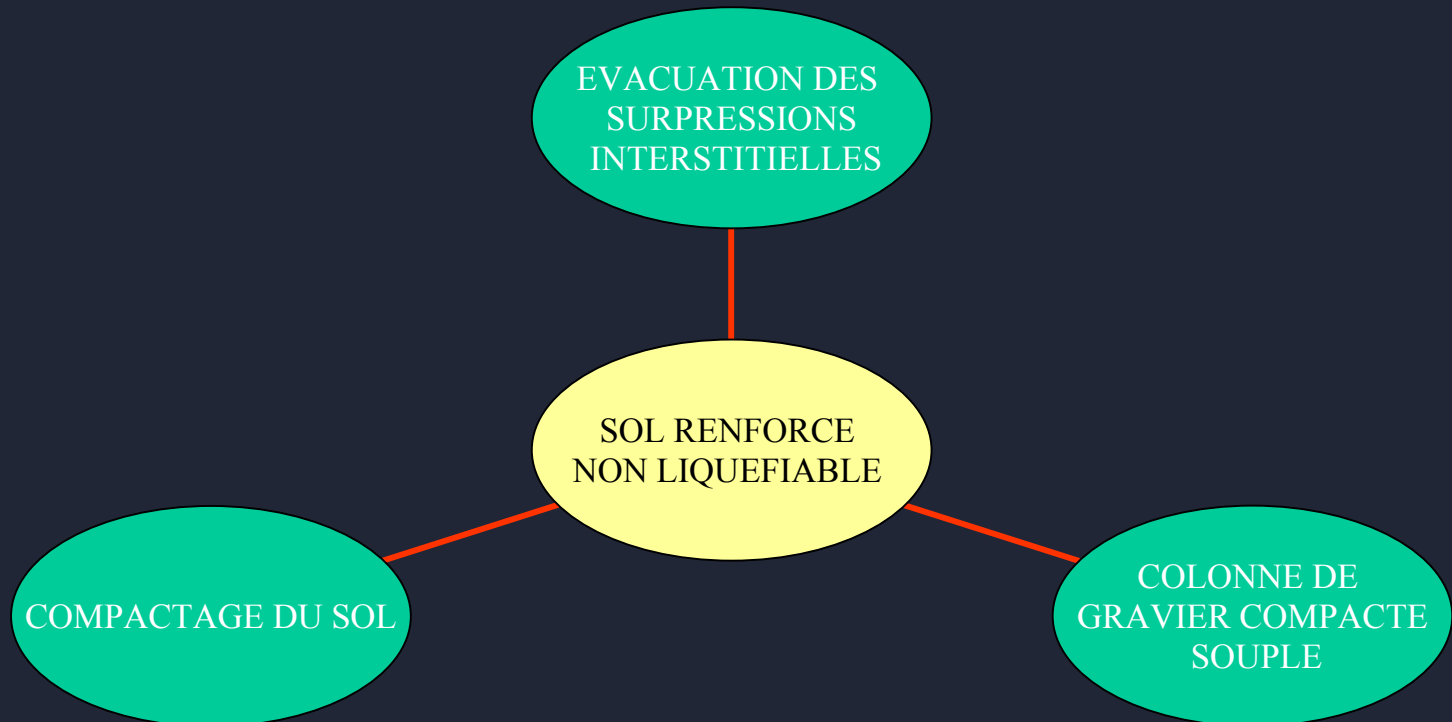
- Aucun signe de rupture ou de liquéfaction de la digue dans la zone traitée

Comportement en dehors de la zone traitée

- fissures importantes sont apparues au droit du déversoir qui a nécessité sa démolition et sa reconstruction

CONCLUSION

TOUS LES SITES TRAITES PAR COLONNES BALLASTEES ONT ATTEIND LEUR OBJECTIF





Merci beaucoup de votre attention

3). Les colonnes ballastées

- **Dans des formations comportant un pourcentage important de fines et donc de perméabilités plus faibles, la réduction de la pression intersticielle ne permet pas à elle seule de justifier la suppression du risque de liquéfaction**
- **En particulier, dans la zone située au centre des mailles de colonnes où, par hypothèse, le sol n'est pas amélioré, la liquéfaction pourrait théoriquement se déclencher**
- **Pour l'analyse du potentiel de liquéfaction d'un sol renforcé par colonnes ballastées, il convient de considérer le transfert de contraintes qui s'opère entre le sol et les colonnes**

3). Les colonnes ballastées

- Les colonnes ballastées présentent l'avantage d'être caractérisées par :
 - Une grande flexibilité qui leur permet d'accepter les déformations induites par le séisme sans perdre leur capacité portante :
$$d = d_{\text{sol}} = d_{\text{CB}}$$
 - Un module de cisaillement G_{CB} supérieur au module de cisaillement du sol G_{sol}
- En considérant l'équilibre des forces à une profondeur donnée :
 - Avec : $\tau_{\text{sol}} / G_{\text{sol}} = \tau_{\text{CB}} / G_{\text{CB}}$
 - On obtient : $\tau \cdot A \cong \tau_{\text{sol}} \cdot A_{\text{S}} + \tau_{\text{CB}} \cdot A_{\text{CB}}$
 - Où τ est la contrainte de cisaillement moyenne issue du séisme

3). Les colonnes ballastées

- On peut ainsi définir :
 - Un taux de substitution :

$$A_r = A_{CB} / A$$

- Un ratio entre le module de cisaillement de la colonne ballastée et celui du sol :

$$G_r = G_{CB} / G_{sol}$$

3). Les colonnes ballastées

- En combinant l'ensemble des équations précédentes, on obtient :

- La contrainte moyenne de cisaillement dans la colonne ballastée :

$$\tau_{CB} = \tau / [A_r + (1 - A_r) / G_r]$$

- La contrainte moyenne de cisaillement dans le sol :

$$\tau_{sol} = \tau_{CB} / Gr$$

3). Les colonnes ballastées

- Pour un ratio G_r un taux de substitution A_r donné, on peut donc définir un facteur de réduction K_g des contraintes de cisaillement induites par le séisme dans le sol :

$$K_g = \tau_{\text{sol}} / \tau = \text{CSR}' / \text{CSR}$$

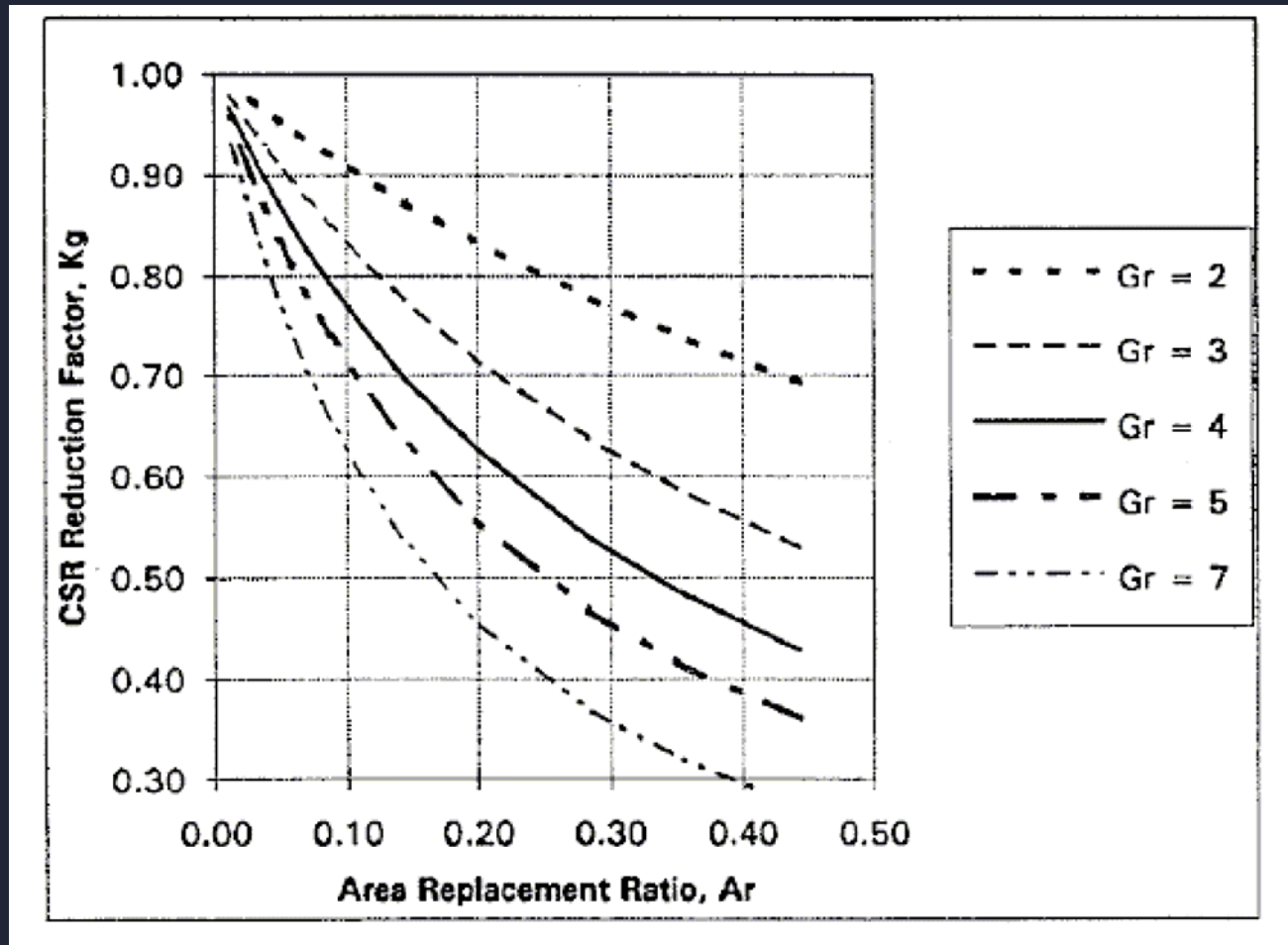
- En l'absence de colonne ballastée, les contraintes de cisaillement sont intégrées de manière simple dans l'analyse du potentiel de liquéfaction, telle que proposée par Seed et Idriss (1971) selon l'équation :

$$\tau = 0,65 \cdot (a_{\text{max}} / g) \cdot \sigma_{v0} \cdot r_d$$

- Pour tenir compte de l'effet de la colonne ballastée sur la contrainte de cisaillement appliquée au sol entre colonnes, l'équation précédente peut être modifiée par le facteur K_g

3). Les colonnes ballastées

- Résultats d'une étude paramétrique sur A_r et G_r :



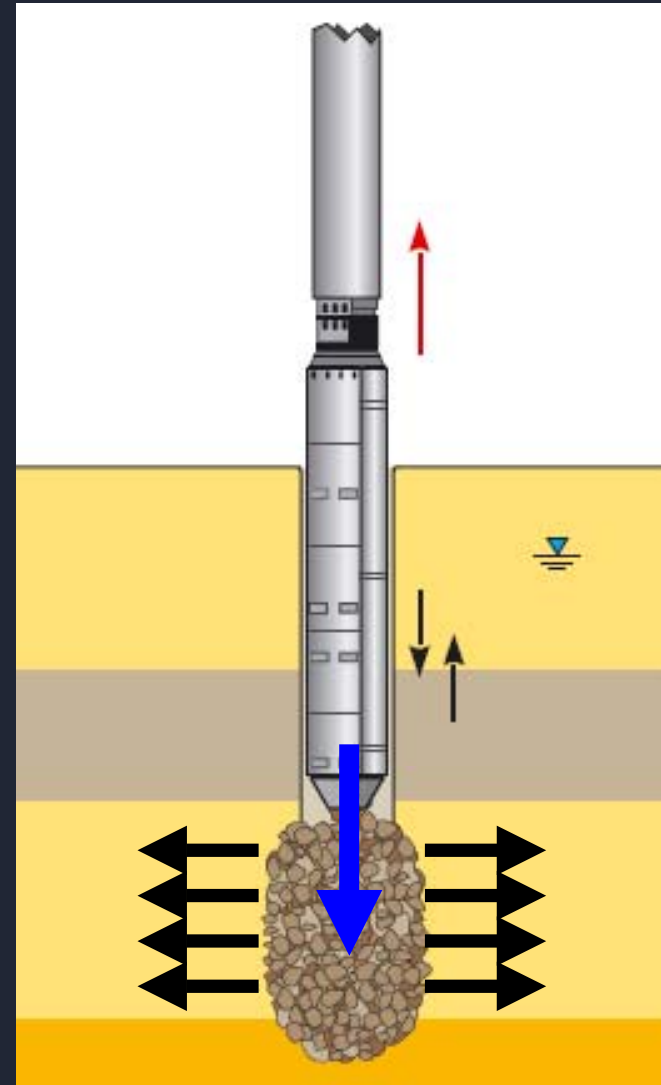
ACTION DE DENSIFICATION

PAR COMPRESION LATERALE DU SOL (expansion du diamètre de la colonne)

2. Compactage

Lorsque la profondeur finale est atteinte, le vibreur est légèrement remonté et le matériau d'apport, préalablement introduit dans le tube se met en place dans l'espace ainsi formé.

Puis le vibreur est redescendu pour élargir le matériau latéralement dans le sol et le compacter de manière homogène sur toute la hauteur de la colonne.

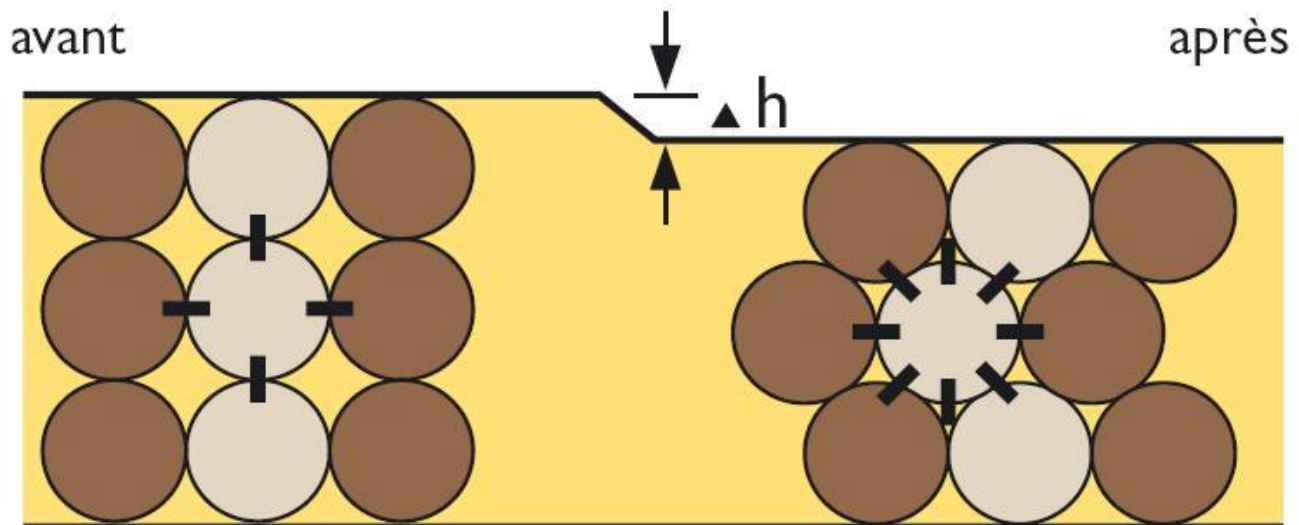


ACTION DE DENSIFICATION

Par vibration (vibrocompactage)

- Permet de densifier les sables en réorganisant les grains sous l'effet de la vibration
- En particulier : Augmenter les forces de contact entre les grains de manière à ce que les surpressions intersticielles, engendrées par le séisme, ne suffisent plus à déclencher la liquéfaction

Etat de compacité du sol

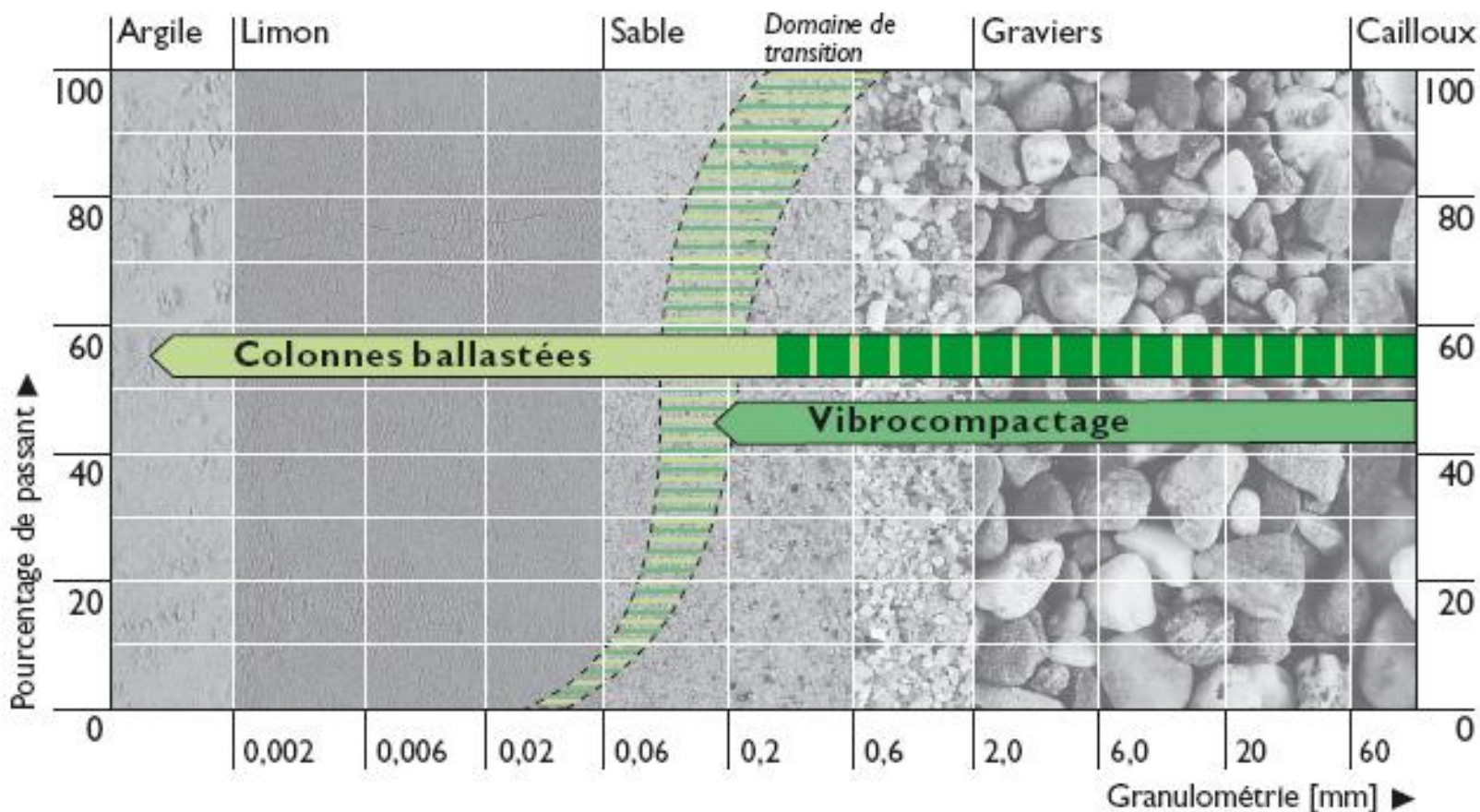


ACTION DE DENSIFICATION

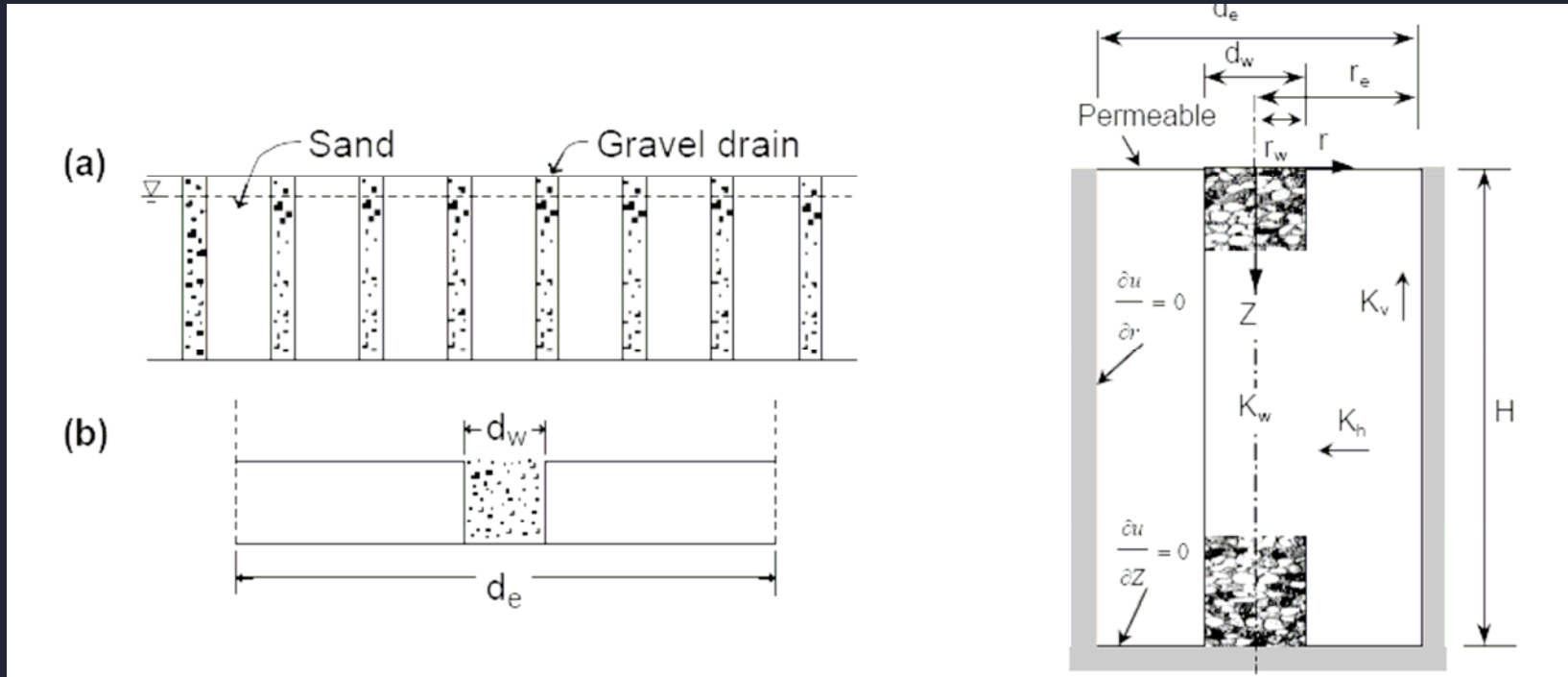
1) PAR VIBRATION (vibrocompactage)

2) PAR COMPRESION LATERALE (refoulement du gravier de la colonne ballastées)

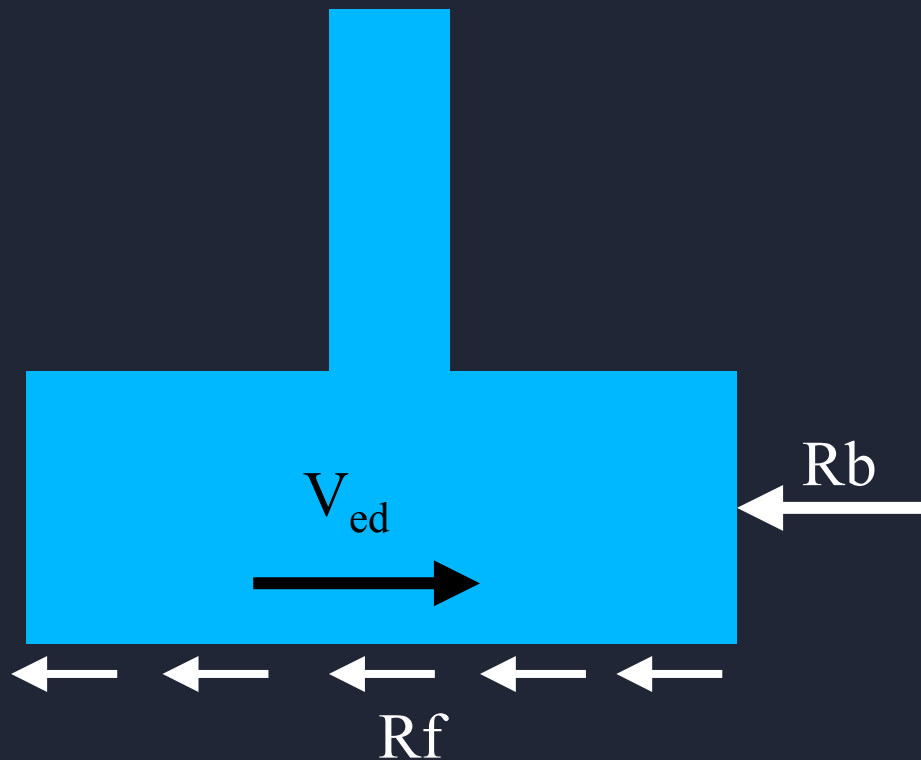
Domaines d'application des techniques d'amélioration de sol



ACTION DE DRAINAGE



REACTION POUR LA REPRISE DU CISAILLEMENT (V_{ed})



REACTION POUR LA REPRISE DU MOMENT

