



# ***Prise en compte du risque terrain dans la mise au point d'un projet***

## ***Cas du métro de Hanoï-Vietnam***

*J.Lefevre - E.Chiriotti - D.Chevalier  
Département Génie Civil et Ouvrage d'Art*

*Comité Français de Mécanique des Sols - 28 Janvier 2009*

# *Déroulement de la présentation*

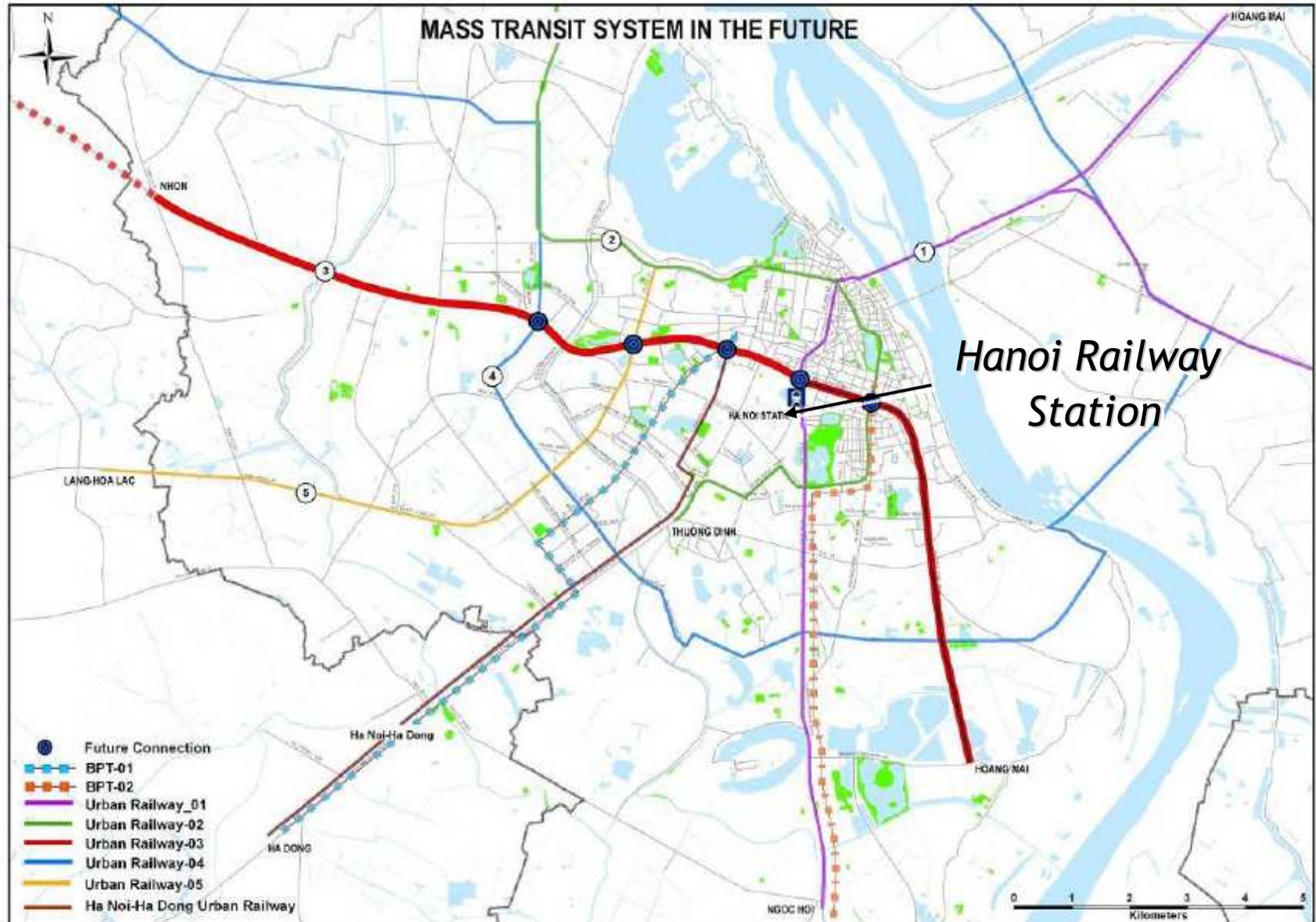


- *Présentation du projet*
- *Contexte géologique / sismique / hydrogéologique*
- *Etudes antérieures et revue*
- *Objectifs de la 1<sup>ère</sup> phase de campagne de sol*
- *Description de la campagne de sol*
- *Problématiques rencontrées*
- *Risques*
- *Interprétation géotechnique*
- *Maquette géotechnique*
- *Bilan de la 1<sup>ère</sup> phase de campagne de sol*
- *Impacts principaux sur le projet*
- *Objectif de la 2<sup>ème</sup> phase de campagne de sol*

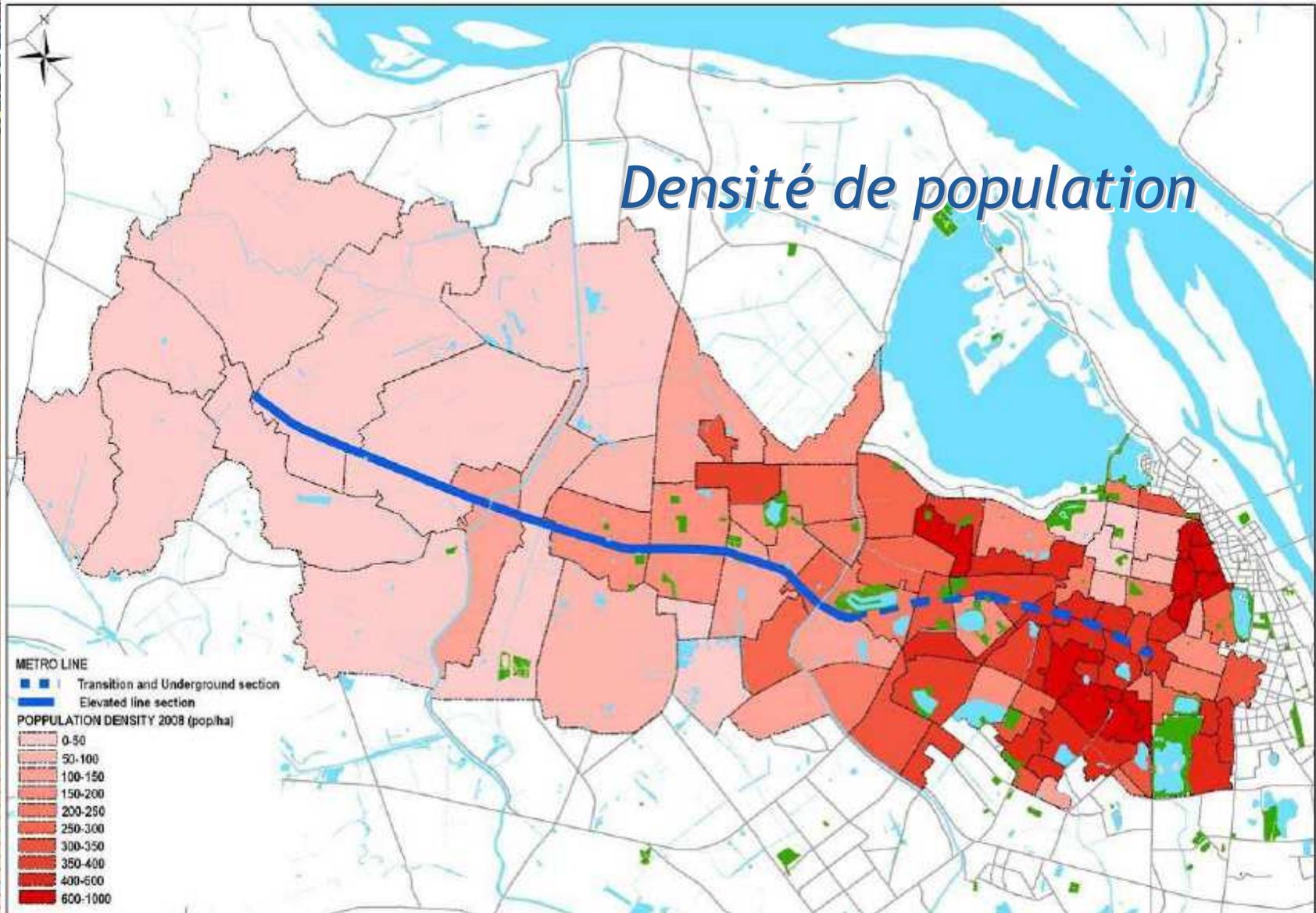
# Présentation du Projet



# Présentation du Projet



# Présentation du Projet





Deawoo hotel - future connection



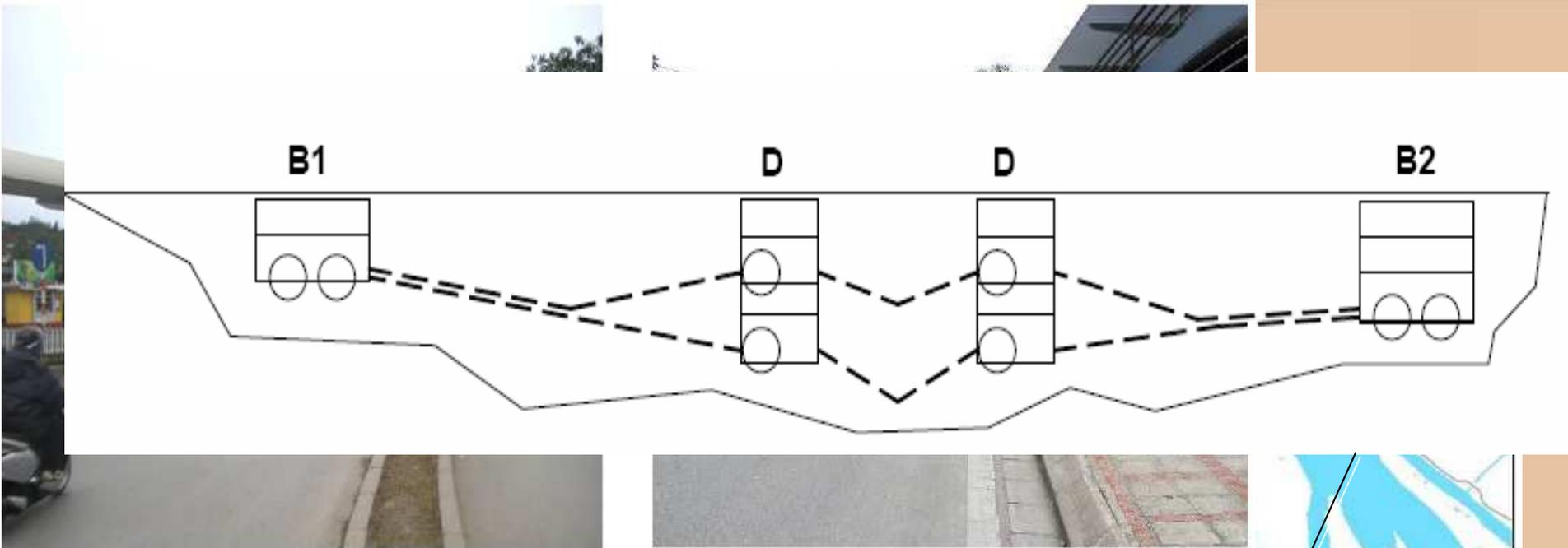
Horison hotel - future connection



Hanoi Railway Station

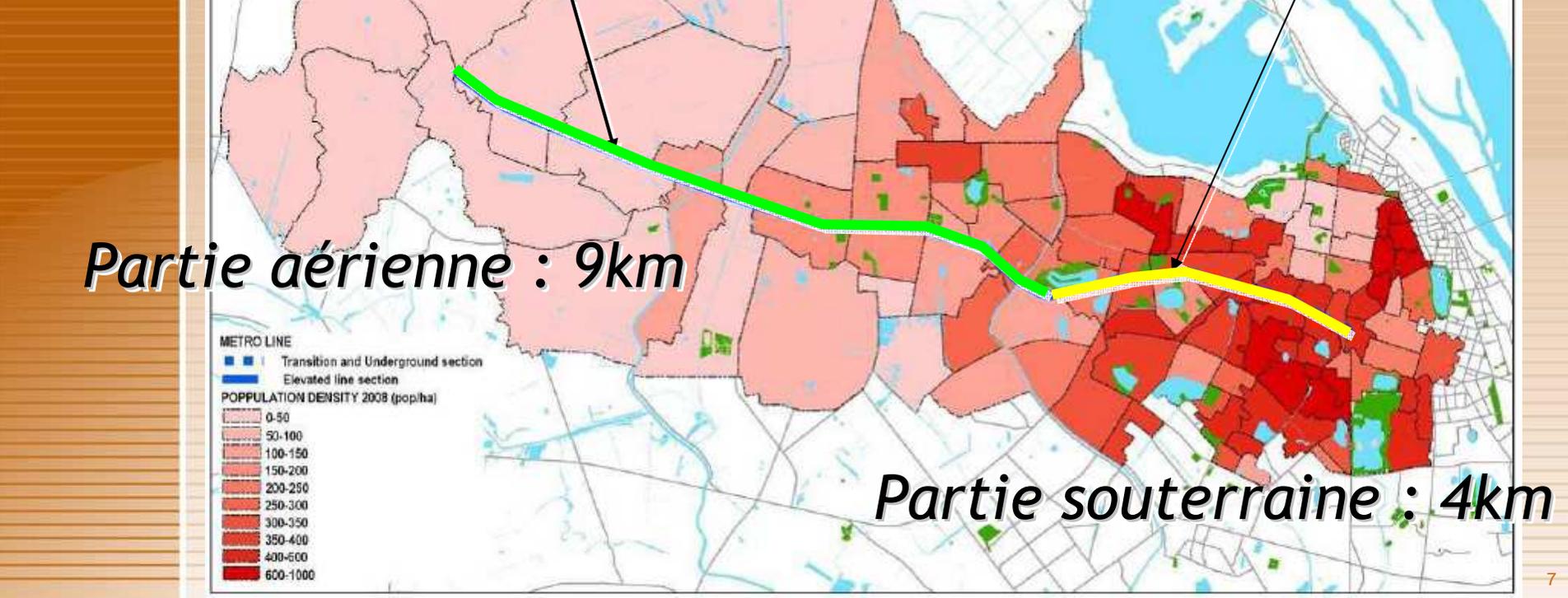


Cau Giay Interchange



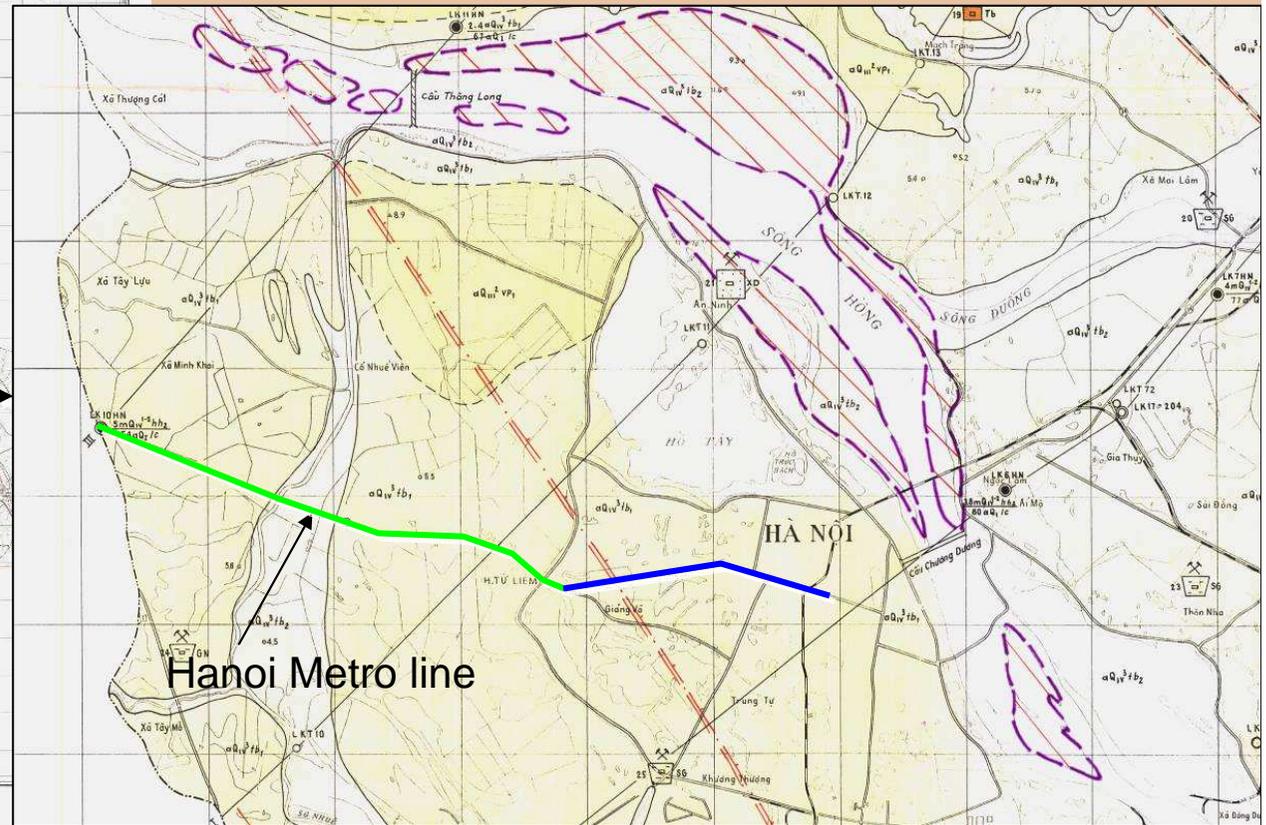
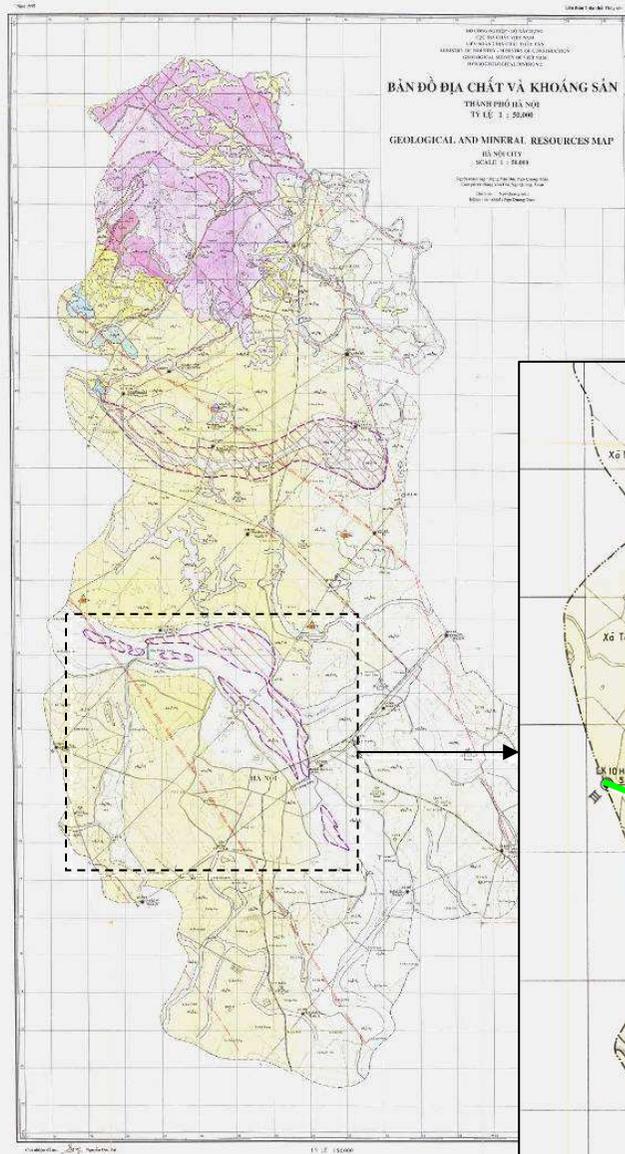
*Insertion view n°1*

*Insertion view n°2*



# Contexte géologique – sismique - hydrogéologique

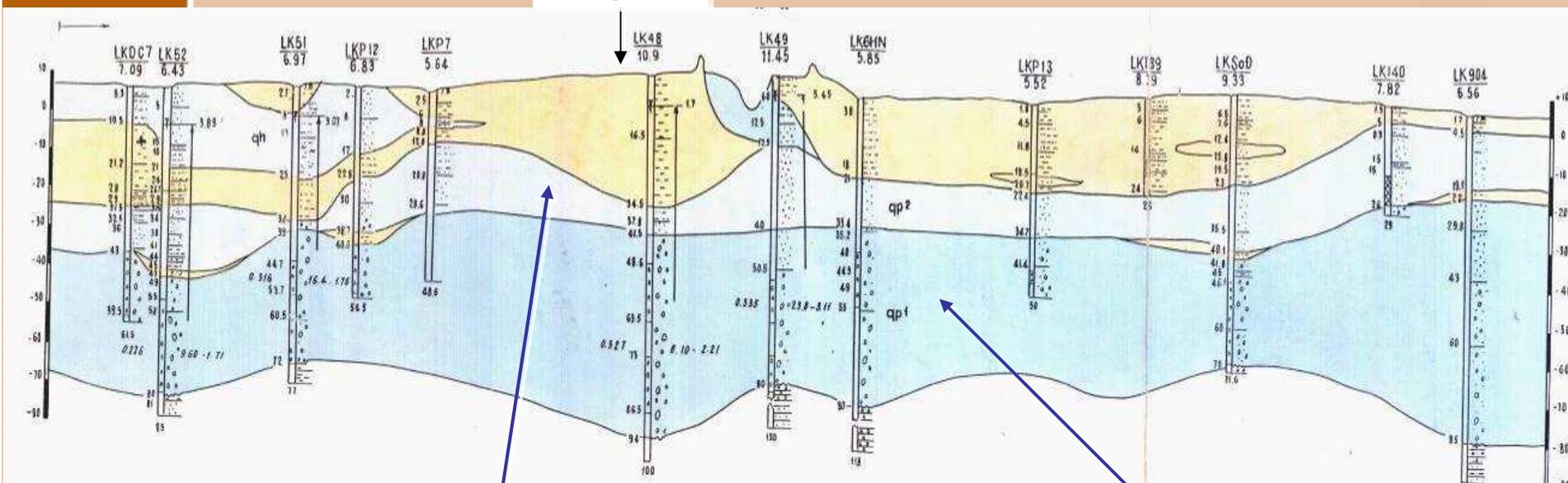
Bassin fluvio-deltaïque du fleuve rouge





# Contexte hydrogéologique

Project



Aquifère faiblement productif

Aquifère productif

# Historique



2006

Campagne de sol  
pour l'Etude de faisabilité

Janv 2008

Revue de Campagne de sol  
de l'Etude de faisabilité

=> *Modèle géologique et géotechnique*

Été 2008

1<sup>ère</sup> phase de campagne  
pour le Basic Design

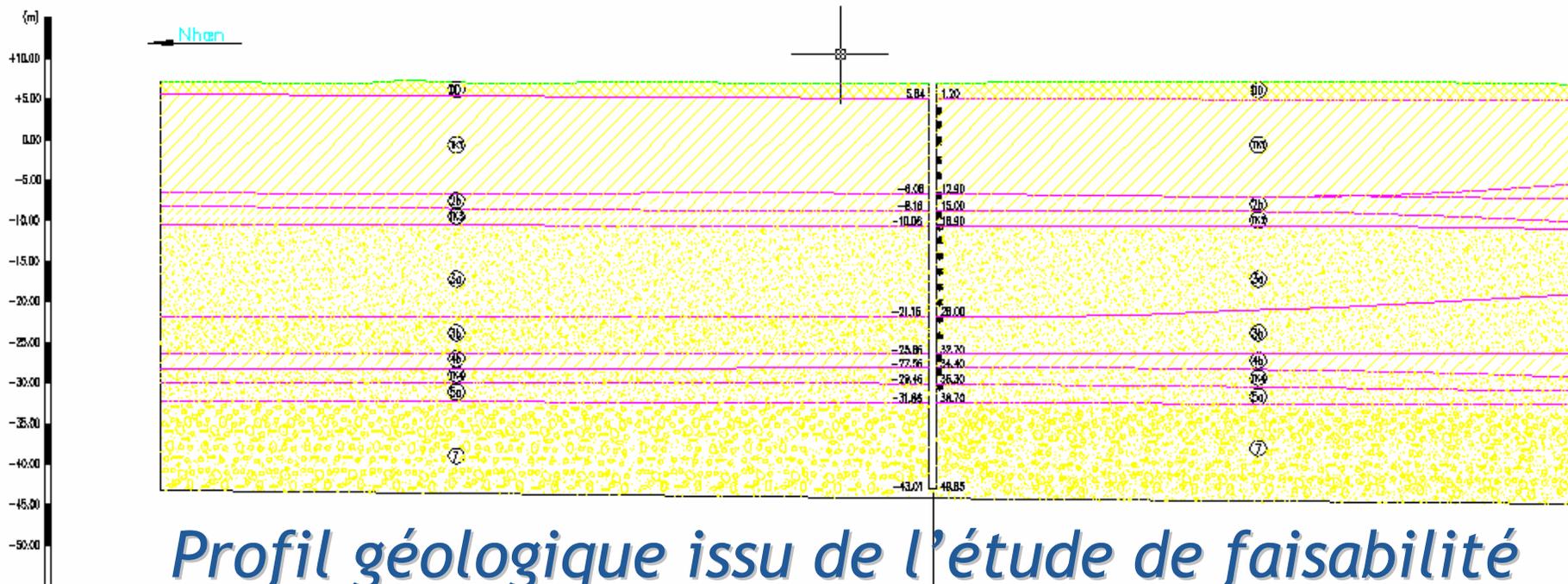
=> *Maquette géotechnique*

2009

2<sup>ème</sup> phase de campagne  
pour le Technical Design

=> *Finalisation de la Maquette géotechnique*

# Objectif de la 1<sup>ère</sup> phase de campagne



Profil géologique issu de l'étude de faisabilité

KY HIEU LO KHOAN	LK-S 5.84 48.85														
CAO DO THIEN NHEN	7.14	6.95	7.31	6.89	7.00	6.90	7.08	7.16	6.88	6.88	7.18	7.18	7.23	7.02	6.85
CU LY LE	100.00	22.12	40.00	28.84	12.9	15.41	40.00	44.59	100.00	22.83	78.17	100.00	88.01	1.99	
CU LY CONG DON	0.00	100.00	122.12	162.12	182.76	200.00	215.41	232.41	300.00	400.00	423.83	500.00	600.00	688.01	700.00
TEN COC		H1	ND1	TD1	PG1	H2	TC1	NC1	H3	H4	TC2	H5	H6	ND2	H7
LY TRINH	KHO														

# *Description de la 1<sup>ère</sup> phase de campagne*



*Données de la campagne de sol  
réalisée pour l'étude de  
faisabilité en 2006  
(15 sondages)*



## *1<sup>ère</sup> phase de campagne - 2008*

- *13 sondages SPT de 50m*
- *5 points de calibration*
  - CPT
  - SPT
  - Sondage carotté
- *Essais in-situ*
- *Essais de laboratoire  
(identification - Mécanique)*

*=> 1 sondage / 400m*

# *Problématiques rencontrées*



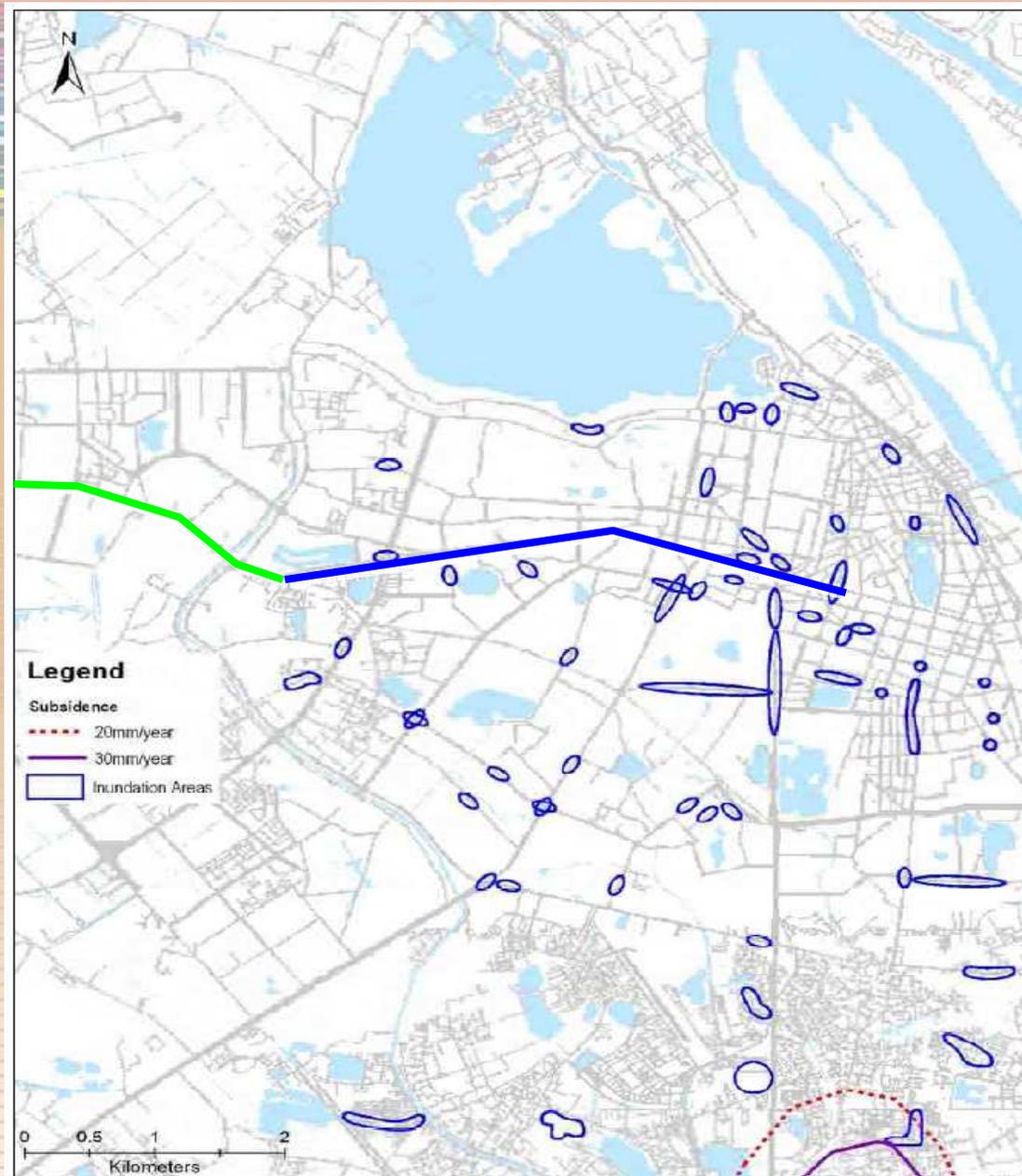
- *Manque de moyens techniques et d'expérience des sous-traitants locaux*
  - *Coût élevé pour la réalisation de certains essais*
  - *Production et suivi des procédures*
  - *Pilotage systématique des activités de reconnaissance*
- => Adaptation aux moyens et aux techniques locaux*
- *Qualité des investigations*

# *Problématiques rencontrées*





# Risque : Inondations



Source: Hanoi Drainage Project for Environmental Improvement, JBIC



# *Interprétation géotechnique*



- *But : identification des unités géotechniques*
- *Méthodologie :*
  - Classification à partir : USCS - données in-situ
  - Traitement statistique des données afin de caractériser chaque unité
  - Corrélations

# Classification à partir : USCS – données in-situ

Soil Plasticity Chart - Fine grained soil

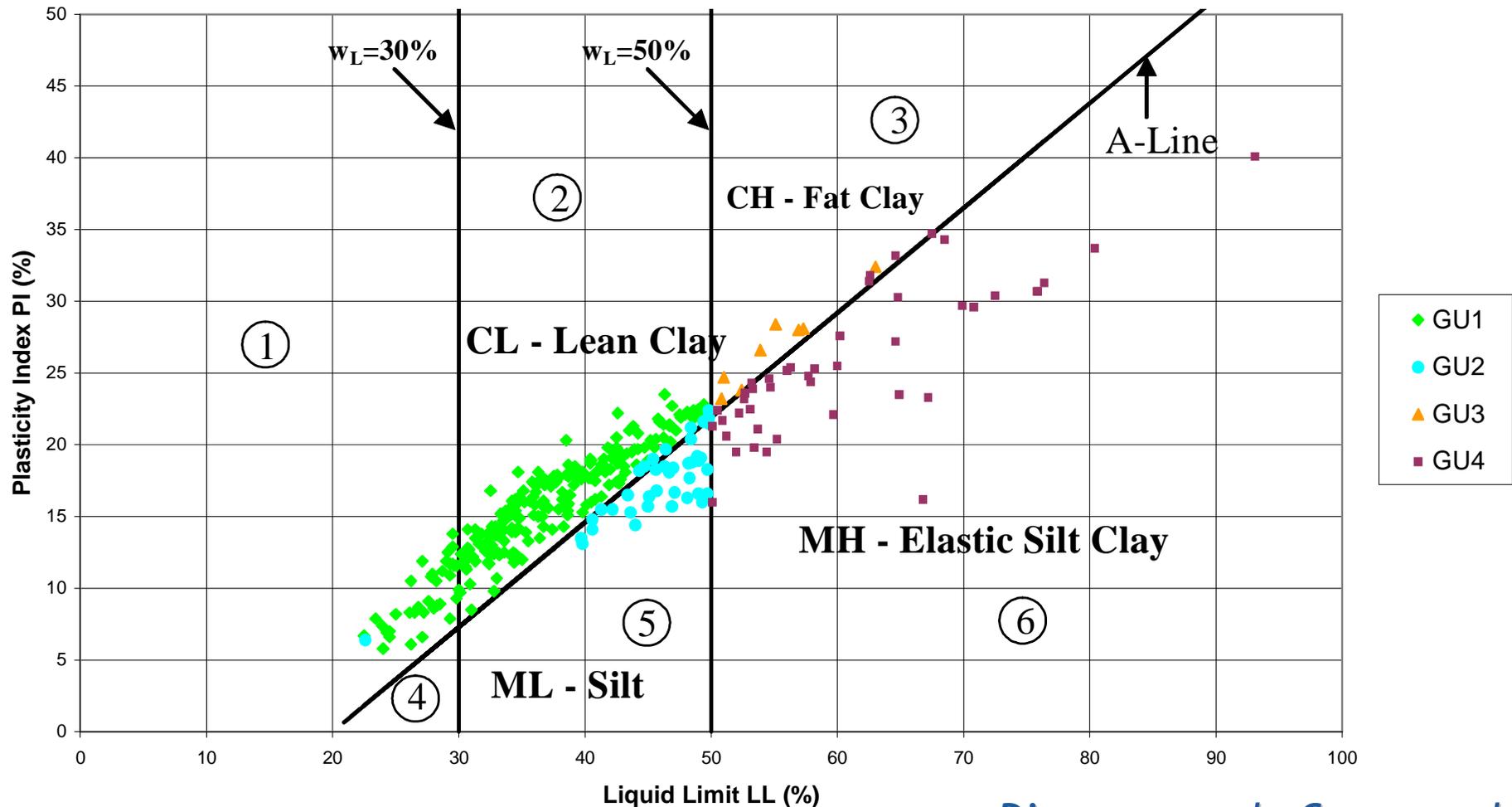
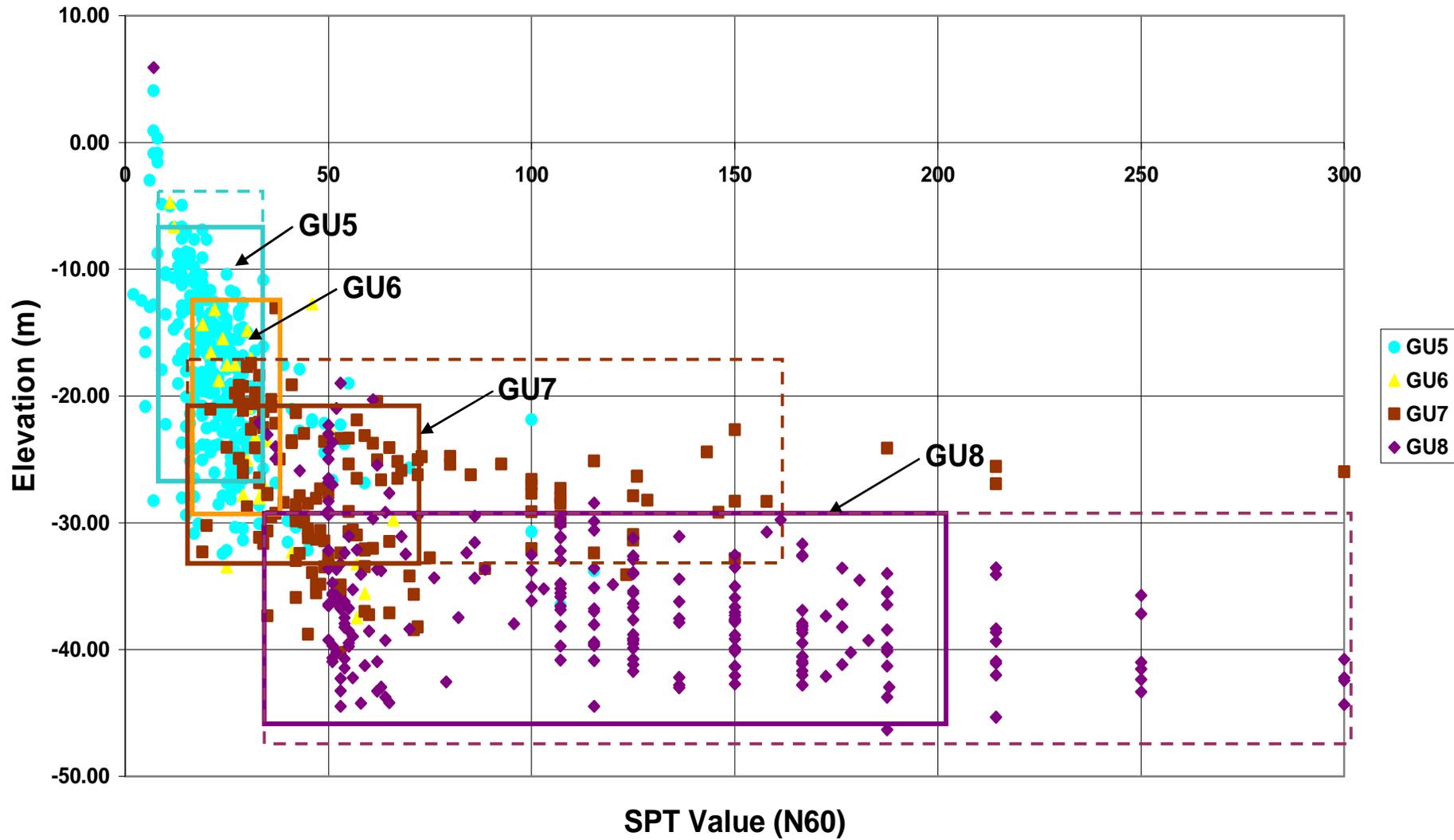


Diagramme de Casagrande

# *Classification à partir : USCS – données in-situ*



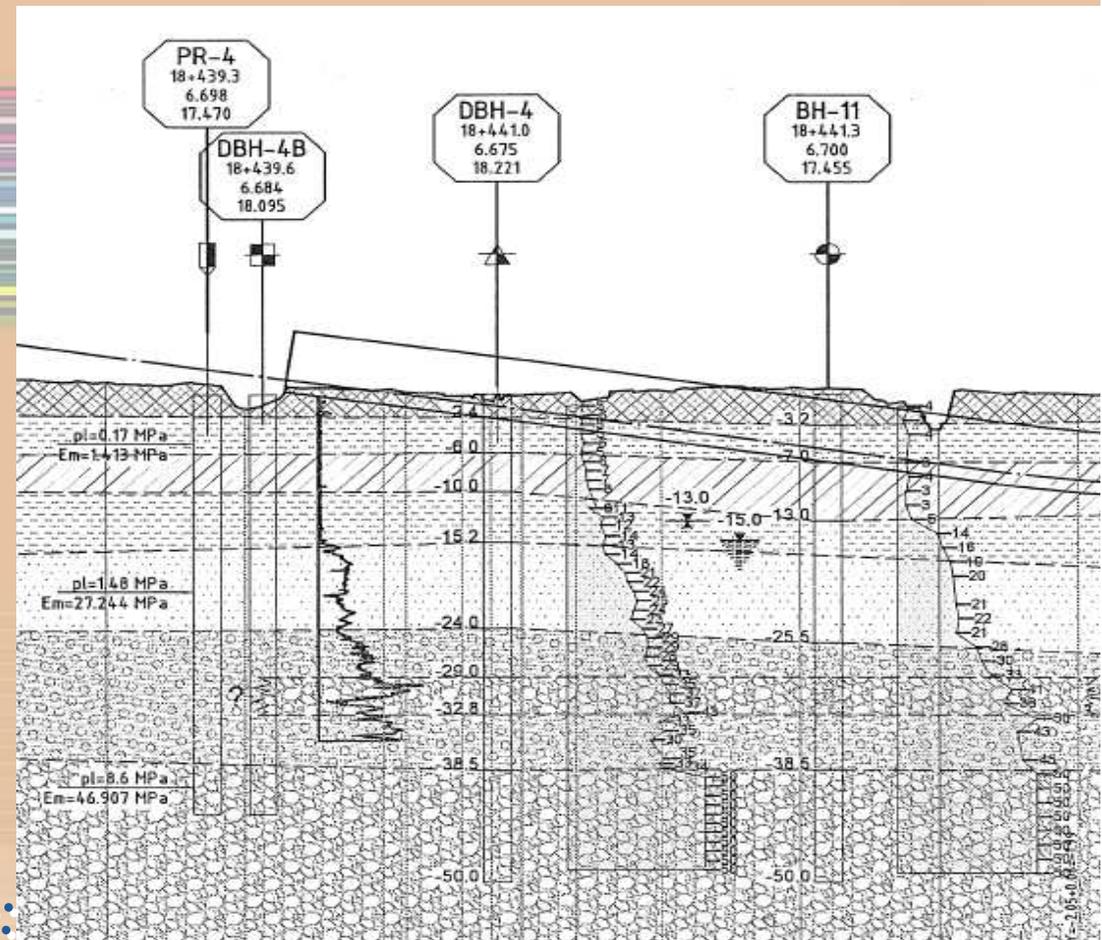
# Interprétation géotechnique

## Familles de sols :



Contexte	géologique	Description lithologique	Unité Géotechnique majeure	Unité Géotechnique mineure	Profondeur moyenne (m)	Altitudes (m HN72)
Red River Fluvio Delta System	Backfill		-		0 – 2m	+7 – +5m
	Hai Hung (Q <sup>1-2</sup> IV hh) and layer Thai Binh (Q <sup>3</sup> IV tb)	Heterogeneous Argillaceous sediments	<b>GU1</b>	(GU2-GU3 GU4)	2 – 18m	+5 – -11m
	layer Vinh Phu (QIII vp)	Cohesive sands	<b>GU5</b>	(GU6)	18 – 30m	-11 – -23m
	layer Ha Noi (QII-III hn)	Coarse Sand	<b>GU7</b>	(GU1)	30 – 40m	-23 – -33m
	layer Le Chi (QI lc)	Gravel with sand	<b>GU8</b>		<40m	< -33m

# Calibration



Investigation associée:

En 5 points du tracé :

- sondage carotté (50m)
- sondage SPT (1 essai SPT/ 1m sur 50m)
- essai CPTu (40m-arrêt sur les graviers/galets)
- Pressiomètres

# *Calibration*

## But :

- *Reconnaître et caractériser les sols difficilement échantillonnables*
- *Collecter le maximum d'informations issues des investigations in-situ et des essais de laboratoire*
- *Identifier la technique la plus fiable et la plus rapide à mettre en œuvre lors de la 2ème phase de campagne*

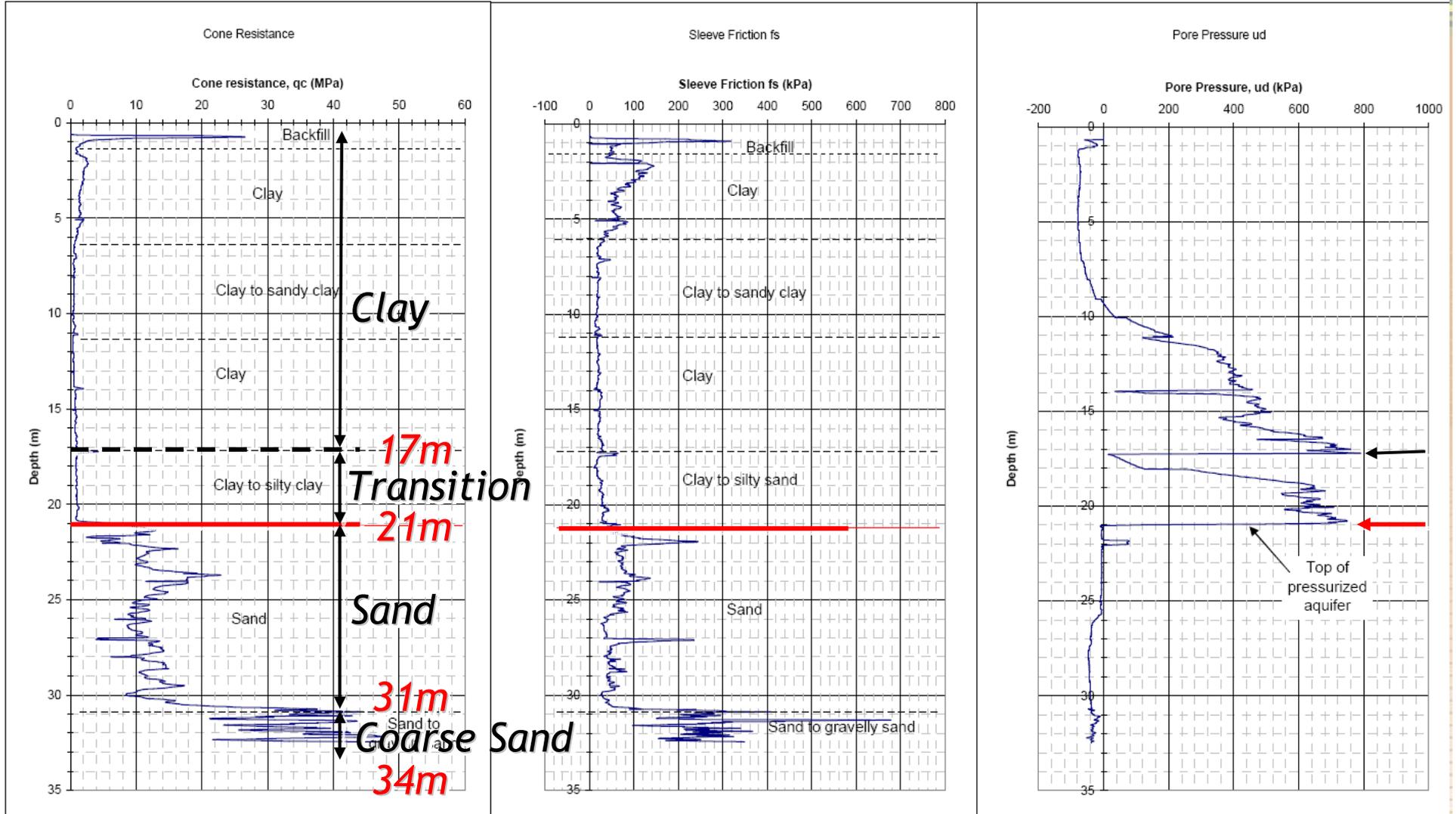
## Technique retenue : **CPTu**

### Avantage du CPTu:

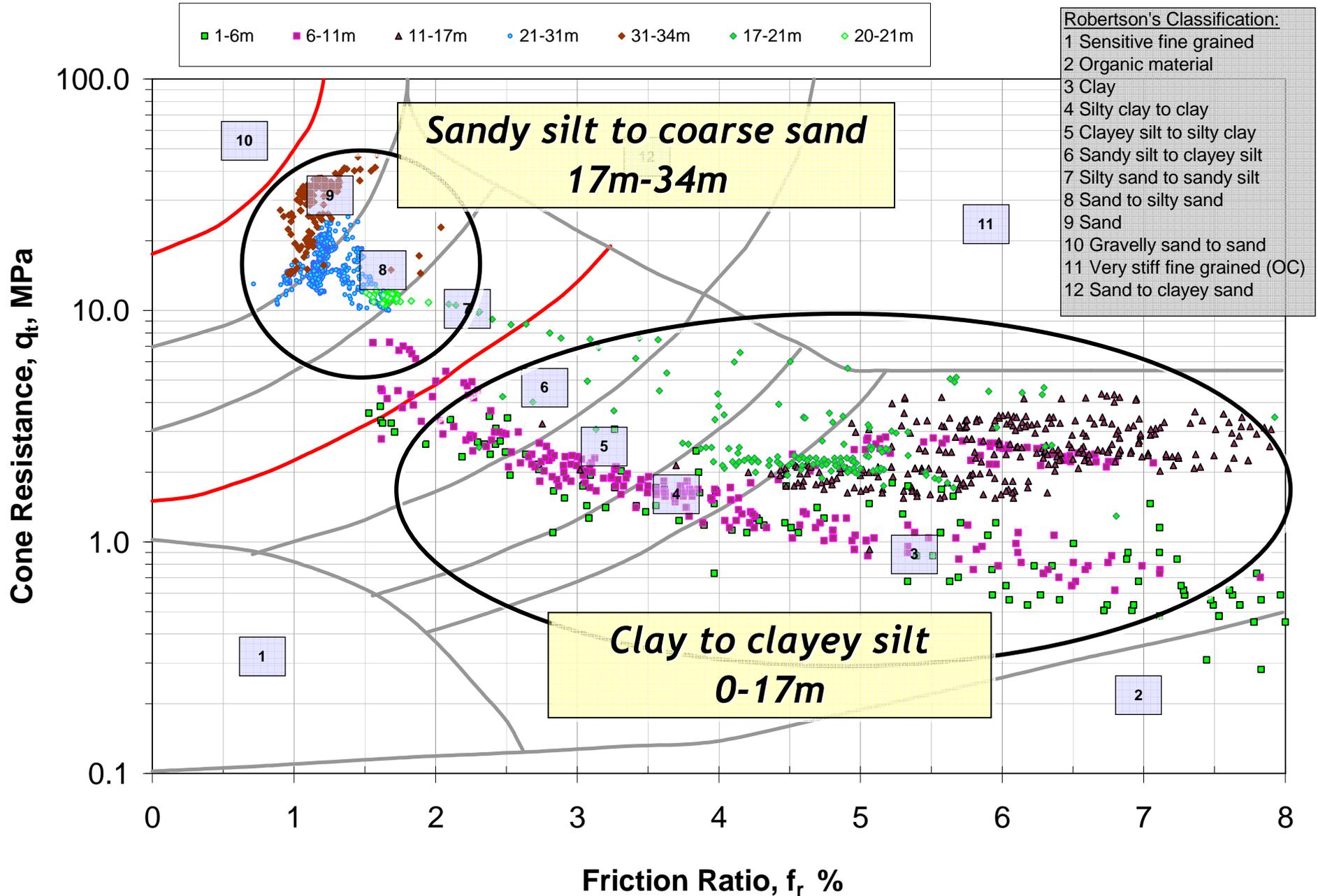
- *Reconnaissance continue des terrains*
- *Distinction entre chaque unité (sol fin / sol granulaire)*
- *Bonne corrélation*
- *Localisation de l'aquifère pressurisé*



# CPTu



# Classification par l'Abaque de Robertson





# Modèle géotechnique

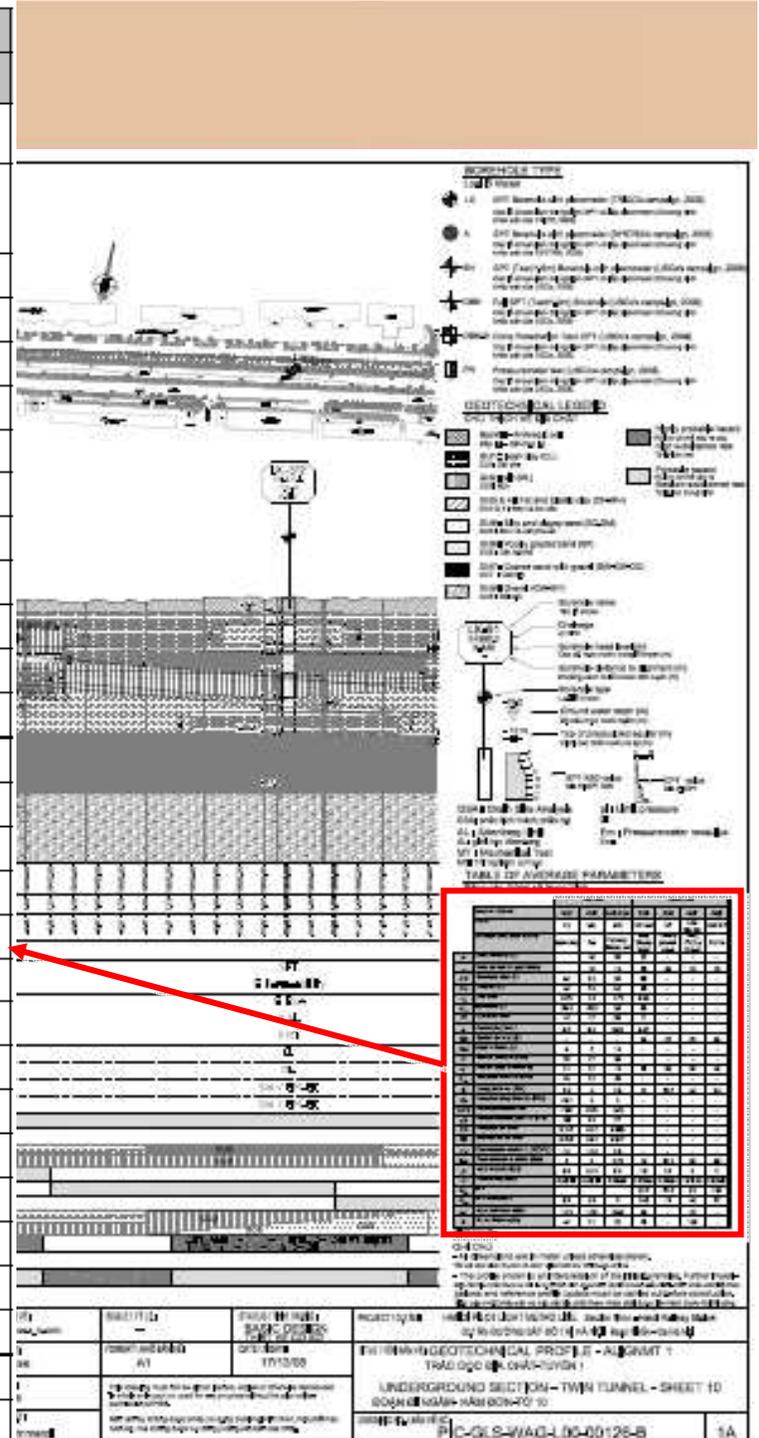
- Tunnel :

Charge hydraulique et unité géotechnique rencontrée au niveau du front de taille



DATA RELEVANT TO TUNNELING DỮ LIỆU LIÊN QUAN ĐẾN CÔNG TÁC LÀM HẦM	Hydraulic load (m) - (Above the tunnel 1 crown)	10-15	
	Áp lực nước (m) - (phía trên nóc hầm)	15-20	
	Geotechnical unit at tunnel 1 face		GU1
	Biểu thị địa kỹ thuật tại vòm hầm		GU2
	Hydraulic load (m) - (Above the tunnel 2 crown)	10-15	
	Áp lực nước (m) - (phía trên nóc hầm)	15-20	
		20-30	
	Geotechnical unit at tunnel 2 face		GU2
Biểu thị địa kỹ thuật tại vòm hầm		GU5	

		Fine soil			Coarse soil			
Geotechnical unit		GU1	GU2	GU3-GU4	GU5	GU6	GU7	GU8
USCS		CL	ML	MH	SC-SM	SP	SW-GM-GC	GW-GP
Lithotype description (USCS)		Lean clay	Silt	Fat clay-Elastic silt	Silty, Clayey Sand	Poorly graded sand	Silty, Clayey Gravel	Gravel
w	Water content (%)		43	59	22	-	-	-
$\gamma$	Watered Unit Weight(KN/m3)		18	16	20	20	19	19
SR	Saturation ratio (%)	95	94	95	90	-	-	-
Po	Porosity (%)	43	54	63	38	-	-	-
e <sub>0</sub>	void index	0.78	1.2	1.73	0.62	-	-	-
w <sub>L</sub>	liquid limit (%)	36.4	45.8	60	25	-	-	-
PI	Plasticity index	15	17	26	8	-	-	-
I <sub>c</sub>	Consistency index	0.5	0.2	0.02	0.47			
DR	Relative Density (%)	-	-	-	34	37	46	55
OM	Organic Matter (%)	6	7	10	-	-	-	-
C'	Effective cohesion (kPa)	29	27	20	-	-	-	-
$\phi'$	effective angle of friction (°)	21	27	14	30	36	38	42
C <sub>u0</sub>	undrained cohesion (kPa)	35	32	40	-	-	-	-
E	Young Modulus (MPa)	5.6	4	3.5	13	25.7	43	84
E <sub>0</sub>	Compressibility Modulus (MPa)	5.67	3	2	-	-	-	-
OCR	Overconsolidation ratio	1.68	0.76	1.02	-	-	-	-
$\sigma'_p$	Preconsolidation pressure (kPa)	128	64	77	-	-	-	-
CR	Compression Index	0.117	0.27	0.386	-	-	-	-
RR	Recompression Index	0.015	0.03	0.017	-	-	-	-
C <sub>v</sub>	Consolidation coefficient (10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s)	15	11.5	5.5	-	-	-	-
E <sub>m</sub>	Pressuremeter modulus (Mpa)	5	3	2.75	18	22.3	38	80
p <sub>l</sub>	Limit Pessure (Mpa)	0.6	0.45	0.4	1.6	2.2	4	8
K	Pemeability (m/s)	8.5E-08	5.0E-08	5.0E-08	3.5E-05	3.0E-04	1.0E-04	2.0E-02
N <sub>60</sub>	SPT				23.7	33.5	64	120
N' <sub>60</sub>	SPT -normalized	8.9	4.6	5	14.5	19	43	57
qc	cone resistance (Mpa)	1.34	1.28	0.94	10	-	19	-
f <sub>s</sub>	Sleeve friction (kPa)	47	71	22	76	-	138	-



## ***Bilan de la 1<sup>ère</sup> phase de campagne***

- *Caractérisation des sols granulaires basée sur des corrélations*
- *Subsidence non quantifiée*
- *Absence de données hydrogéologiques*
- *Risque de liquéfaction faible*
- *Présence de matière organique potentielle (non quantifiée)*
- *Bonne caractérisation des sols argileux*

# *Impact sur le projet*



<i>RISQUES RESIDUELS</i>	<i>IMPACTS PRINCIPAUX</i>
<i>Sols granulaires</i>	<i>Choix des tunneliers et des pressions de confinement</i>
<i>Subsidence</i>	<i>Etat des lieux avant travaux Impact sur le dimensionnement des fondations Impact sur le tunnel</i>
<i>Contexte hydrogéologique</i>	<i>Impact sur le dimensionnement des structures de soutènement et du tunnel Choix des tunneliers et des pressions de confinement (Tunnels) Impact sur les équipement d'évacuation des eaux</i>

## ***Objectif de la 2ème phase de campagne***

- *Investigations complémentaires localisées*
- *Réduire les risques résiduels*
- *Préciser la stratigraphie où le doute persiste*
- *Caractérisation des sols granulaires*
- *Caractérisation des aquifères*
- *Adaptation des investigations à chaque type d'ouvrage*



## *Objectif de la 2<sup>ème</sup> phase de campagne*



<i>Partie aérienne</i>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Niveau d'ancrage</li><li>- Caractérisation continue</li></ul>
<i>Station souterraine</i>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Modèle 3D géotechnique</li><li>- Dimensionnement des structures de soutènement, excavation, traitement de sol</li></ul>
<i>Tunnel</i>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Choix des TBM</li><li>- Choix de la pression de confinement</li><li>- Modèle 3D hydrogéologique</li></ul>
<i>Bâti</i>	<i>Technique de traitement de sol pour renforcement des fondations</i>



*Merci de votre attention*

*J.Lefevre*

*Département Génie Civil et Ouvrage d'Art*