

« **Enrochements** »

Rock manual
Partie géotechnique

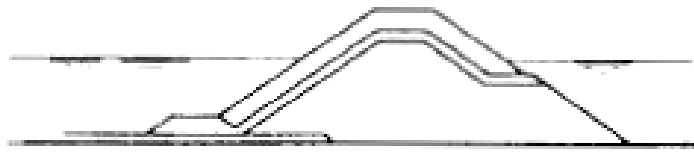
Jean-Pierre Magnan, LCPC

1. Types d'ouvrages et problèmes géotechniques
2. Structure du document et quelques détails

Types d'ouvrages et problèmes géotechniques

- Ouvrages maritimes
- Travaux de fermeture
- Ouvrages de voies navigables intérieures

Brise-lames / Jetées



Conventional rubble mound



Berm breakwater



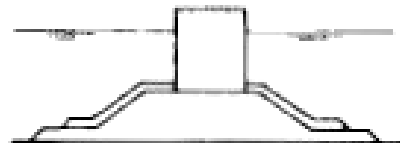
Reef breakwater



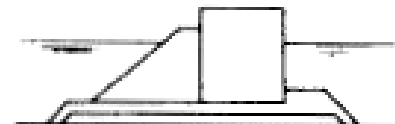
Low-crested/submerged breakwater



Caisson breakwater
on rock foundation



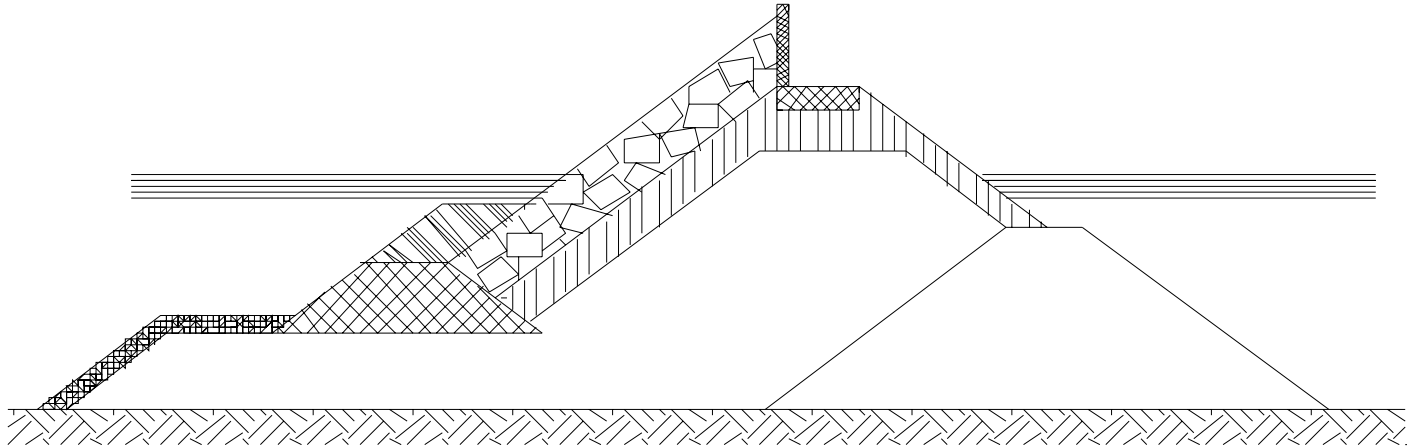
Vertically composite
caisson/rock breakwater



Horizontally composite
caisson/rock breakwater

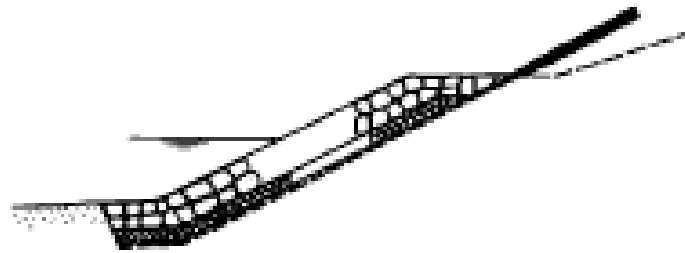
Exemples de coupes de digues marines

Brise-lames / Jetées

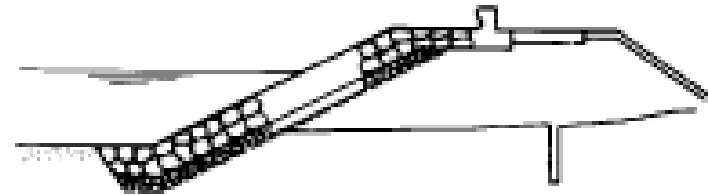


- Les tassements des ouvrages de couronnement et des revêtements en enrochements nécessitent une attention particulière
- La stabilité des pentes et des sols sous les ouvrages doit être vérifiée
- Il convient de faire attention au comportement des structures et des sols sous chargement cyclique
- L'érosion du sol près des ouvrages peut provoquer des dommages ou des ruptures (instabilité du talus, glissement de la couche d'enrochement, instabilité du sol de fondation).
- Une attention particulière doit être portée à l'érosion aux extrémités

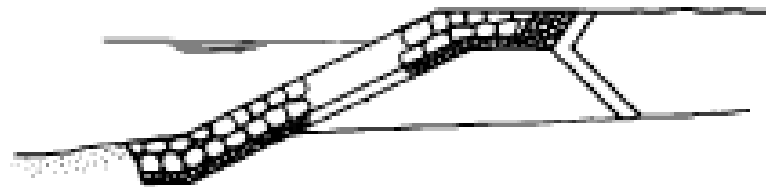
Digues (longitudinales) et protections de côte



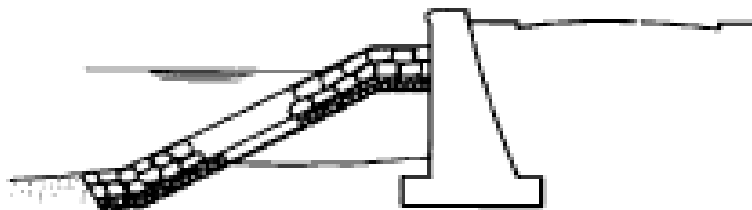
Slope protection to erodible coast



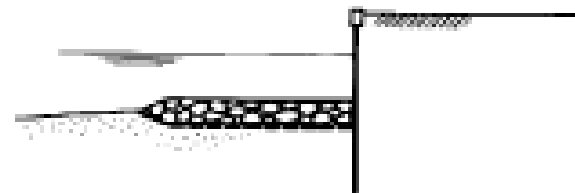
Sea defence protection



Reclamation bund/protection

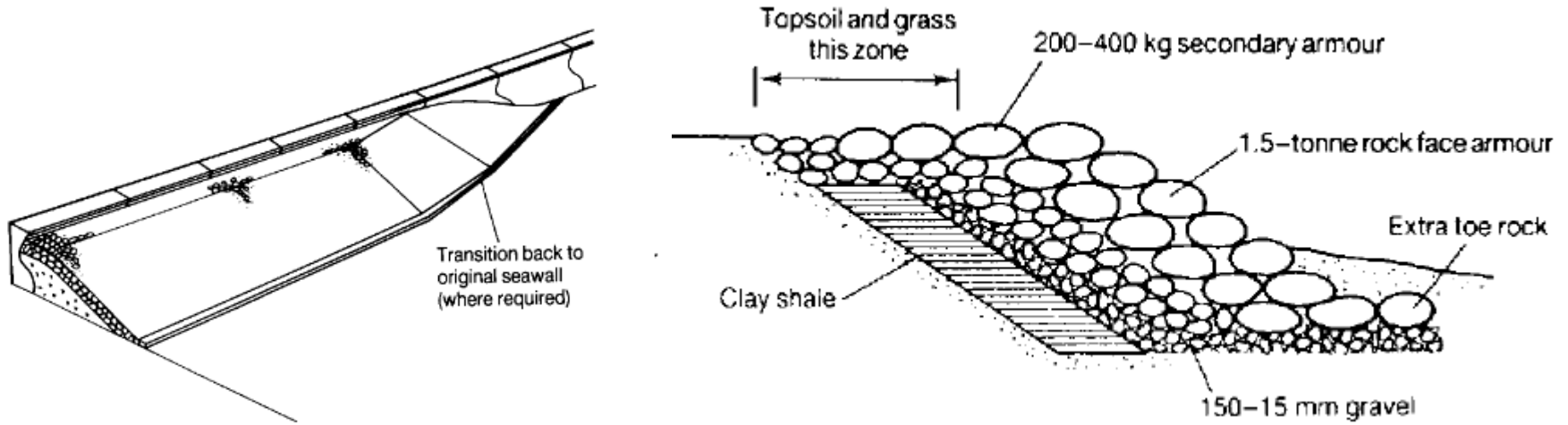


Existing vertical seawall rehabilitation mound



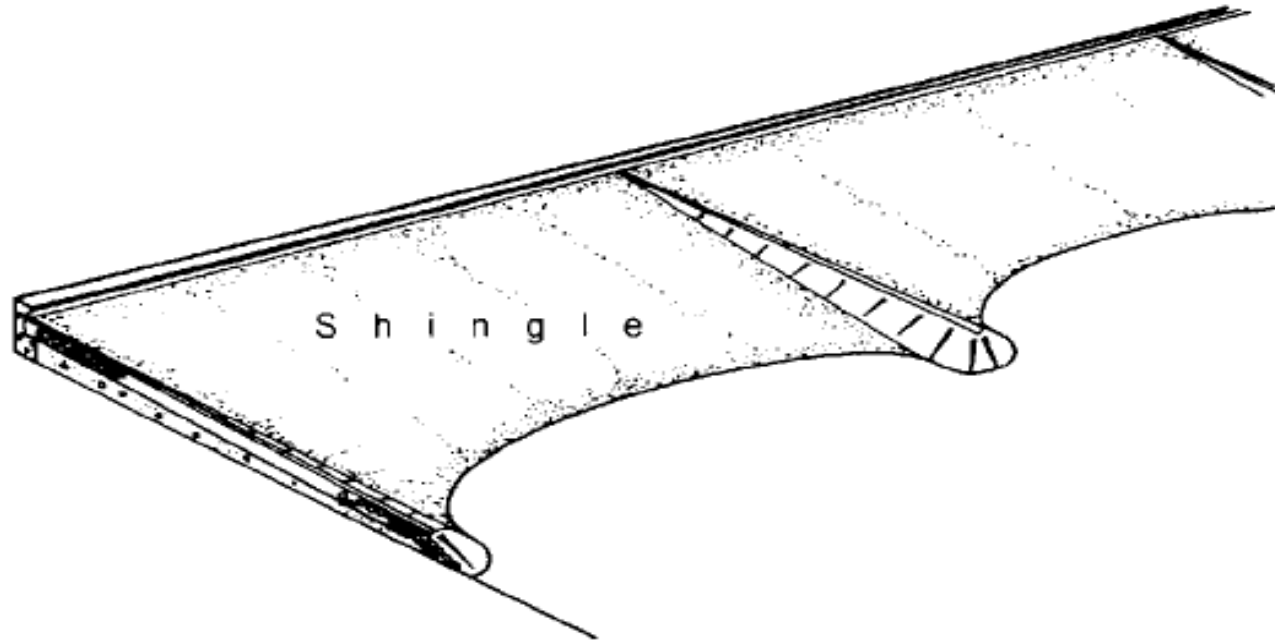
Anti-scour mat to existing vertical wall

Digues (longitudinales) et protections de côte



- Les tassements des enrochements nécessitent une attention particulière
- Il faut vérifier la stabilité des pentes et des sols sous l'ouvrage
- Pour les ouvrages de soutènement, il faut déterminer les propriétés des sols retenus et des sols de fondation
- L'érosion des plages ou des sols sur la partie exposée de l'ouvrage peut provoquer des dommages ou des ruptures de la structure (par exemple, rupture du pied de la protection en enrochements)

Épis



- Il faut se préoccuper des tassements dans l'axe longitudinal de l'ouvrage
- L'érosion le long de l'ouvrage peut être dangereuse, en particulier aux extrémités

Barrages (fermeture, reservoir)

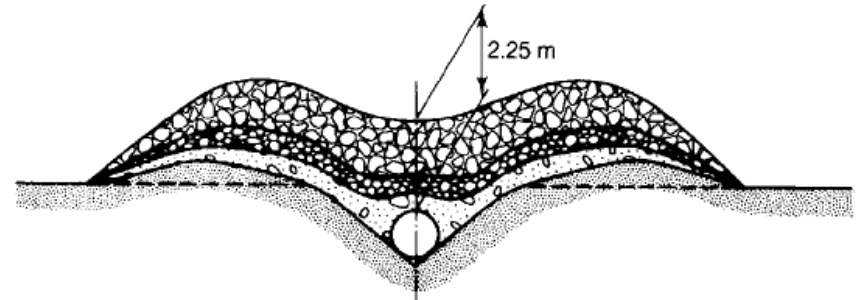
Il convient de se préoccuper des problèmes suivants :

- les processus d'érosion dans la zone à fermer,
- le tassement du sol de fondation,
- les processus d'érosion sous l'ouvrage.

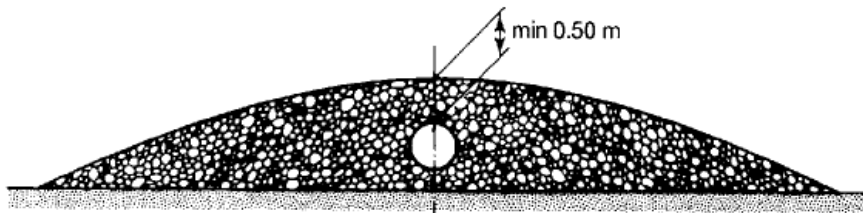
Ouvrages des voies navigables intérieures

- Épis
 - Affouillements le long de l'ouvrage et notamment à l'extrémité
- Dignes longitudinales
 - Affouillements et érosion du lit de la rivière
 - Tassements du sol de fondation et érosion interne sous l'ouvrage
 - Instabilité du talus en cas de vidange rapide ou accidentelle
- Protections de berges
 - Affouillements ou érosion du lit de la rivière pouvant provoquer un glissement de la protection en enrochements ou endommager les parties inférieures de la protection du lit
 - Instabilité de talus en cas de vidange rapide ou accidentelle

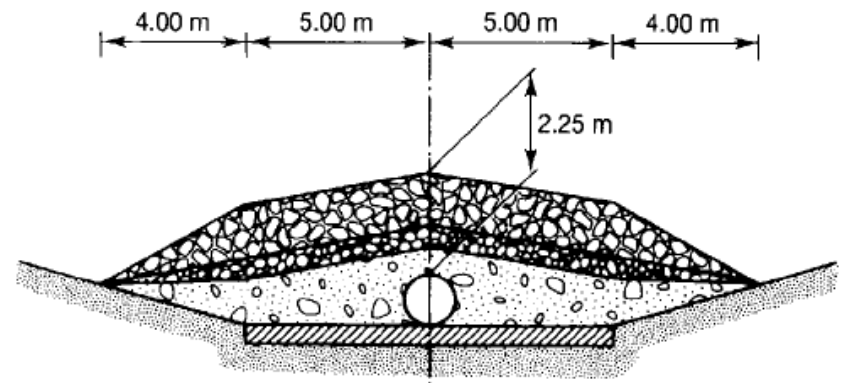
Protections de pipelines et de câbles



Cross-section ploughed or jetted trench



Cross-section offshore stabilization



Cross-section dredged trench

Structure du document

- Chapitre 4.4 Conditions géotechniques du site et collecte des données (15 p)
- Chapitre 5.4 Calcul géotechnique (54 p)

auparavant

- Chapitre 4.3 Conditions aux limites géotechniques et collecte des données (7p)
- Chapitre 5.2 Interactions géotechniques (20 p)
- Annexe 5 Méthodes de reconnaissance de terrain (44 p)

Stratégie

- Limiter le nombre total de pages
- Ne pas reproduire ce qui est déjà dans les « ouvrages de référence »
- Introduire la philosophie des Eurocodes et la démarche de l'Eurocode 7
- Maintenir tout ce qui est spécifique aux ouvrages maritimes et fluviaux, et notamment aux enrochements, car cela n'est exposé nulle part ailleurs

Chapitre 4.4 Conditions géotechniques du site et collecte des données

- 4.4.1 Objectifs des reconnaissances géotechniques
- 4.4.2 Procédures des reconnaissances géotechniques
Reconnaisances géotechniques préliminaires. des reconnaissances géotechniques de projet. Contrôles et instrumentation
- 4.4.3 Détails des reconnaissances géotechniques
Études de sols : généralités, programme, densité et profondeur des reconnaissances. 2 exemples.
Visite du site. Problèmes particuliers associés aux types d'ouvrages. Techniques et matériels de reconnaissance. Interprétation des résultats. Rapport d'étude de sols.
- 4.4.4 Références bibliographiques, normes et lectures complémentaires utiles

Auparavant

- 4.3.1 Aspects généraux de l'établissement d'un programme de reconnaissance
- 4.3.2 Études sur documents
- 4.3.3 Reconnaissance préliminaire des sols
- 4.4.4 Reconnaissance détaillée des sols

Applicabilité présumée des méthodes de reconnaissance et essais en place

Soil parameter	Geophysical methods				Field test						Borings		
	S	ER	EM	N	CPT	CPTU	SPT	FVT	PMT	DMT	Dist.	Undist.	Monit.
Soil profile	C/B	C/B	C/B		A	A	A	B	B	A	A	A	
Classification					B	B	B	B	B	B	A	A	
Water content											A	A	
Pore water pressure						A			B/C				A
Permeability						B			B		C	A	B/C
Dry / wet density				A	C	C	C				C	A	
Density index					B	B	B		C	C		A	
Angle of internal friction					B/C	B/C	B/C	C	C	C		A	
Undrained shear strength					B	B	C	A	B	B		A	
Compressibility					B/C	B/C			C	C		A	
Rate of consolidation						A			C			A	C
Creep settlement												A	
Elasticity modulus	A				B	B	B/C	A/B	B	B		A	
In situ stress					C	C		C	B	B		A	
Stress history					C	C	C	B	B	B		A	
Stress/strain curve						C		B	B	C		A	
Liquefaction susceptibility					A/B	A/B	A/B					A	
Ground conditions													
Hard rock	A		A	A					A		A	A	C
Soft rock-till etc	A		A	A	C	C	C		A	C	A	A	A
Gravel	A	B	A	A	B/C	B/C	B		B		A	C	A
Sand	A	A	A	A	A	A	A		B	A	A	A	A
Silt	A	A	A	A	A	A	A/B	B	B	A	A	A	A
Clay	A	A	A	A	A	A	C	A	A	A	A	A	A
Peat-Organics	C	A	A	A	A	A	C	B	B	A	A	A	A

Abbreviation of geophysical methods: S: Seismic ; ER : Electrical resistivity ; EM :Electro-magnetic ; N : nuclear
Abbreviation of field test: CPT: Cone Penetration Test, CPTU : Cone Penetration Test with pore pressure measurement , SPT : Standard Penetration Test, FVT: Field Vane Test, PMT : Pressuremeter Test, DMT : Flat Dilatometer Test
Abbreviation of boring types: Dist : disturbed sampling ; Undist : undisturbed sampling ; Monit : monitoring wells

Ranking of applicability: A : high ; B : moderate ; C : limited ; if no ranking is given, the method is not suitable.

- Règles pour la localisation des reconnaissances
 - Reconnaissances préliminaires

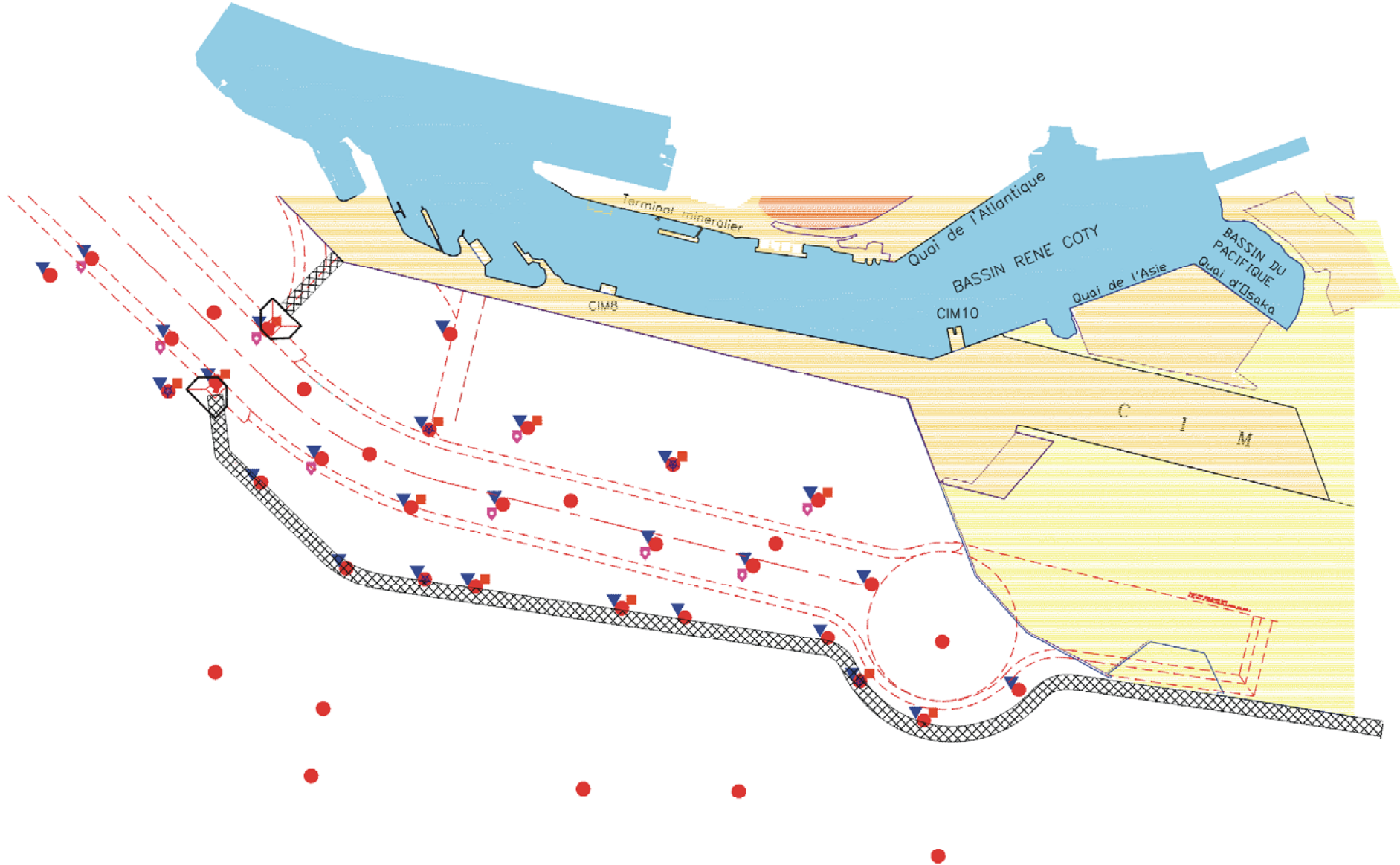
Type of test or technique	Site with homogeneous ground conditions	Site with heterogeneous ground conditions
Geophysical surveys	Along project axis	Along axis and on both sides
Rapid tests (CPT, CPTU, DPT, SPT, destructive boring)	At 100m intervals on the axis (minimum 2)	At 30m intervals alternatively on the axis and on the sides
Intact sampling and laboratory tests	At 300m intervals on the axis (minimum 1)	At 300m intervals on the axis (minimum 1)
Other tests (MPT, FVTetc)	None	None
Ground water measurements	Depending on the site	Depending on the site

- Reconnaissances de projet

Type of test or technique	Site with homogeneous ground conditions	Site with heterogeneous ground conditions
Geophysical surveys	None	None except for specific needs
Rapid tests (CPT, CPTU, DPT, SPT, destructive boring)	At 50m intervals on the axis and on both sides	At 20m intervals on the axis and on both sides
Intact sampling and laboratory tests	At 100m intervals on the axis	At 50m intervals on the axis
Other tests (PMT, FVT, etc)	Depending on the type of structure	Depending on the type of structure
Ground water measurements	Depending on the site	Depending on the site

- Valeurs recommandées des profondeurs de reconnaissance

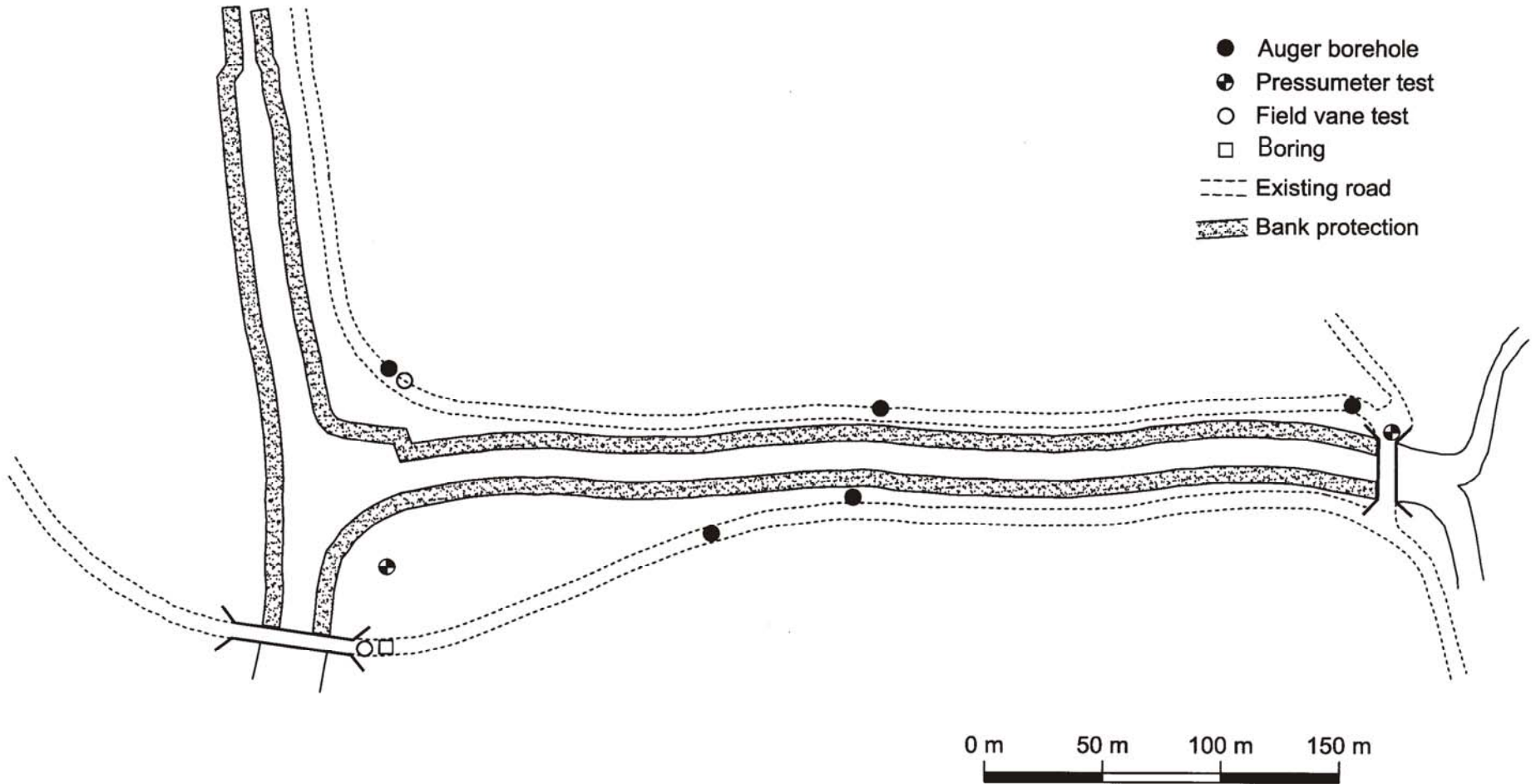
Expected ground conditions	Investigation depth	Comments
Homogeneous rock strata	2m	<ul style="list-style-type: none"> In rocks where cavities may be expected, the investigation depth should be increased.
Indistinct rock formations	5m	<ul style="list-style-type: none"> The investigation depth should be increased if soluble rocks are present, where cavities may be expected. Some boreholes should be taken down to a minimum depth equal to the width of the structure footprint.
Homogeneous soil deposits	Max (5m; 1.5 <i>b</i>)	<ul style="list-style-type: none"> At least one borehole should be taken down to the rock substratum when possible. For soft soils, the investigation depth should be increased to reach the bottom of the weak deposit or to the depth below which the soil has no more significant influence on foundation behaviour. If the rock substratum is reached, it should be investigated as suggested above.
Indistinct soil deposits	Max (5m; 1.5 <i>b</i>)	<ul style="list-style-type: none"> At least one borehole shall be taken down to the rock substratum when possible. For soft soils, the investigation depth should be increased to reach the bottom of the deepest weak deposit or to the depth below which the soil has no more significant influence on foundation behaviour. If the rock substratum is reached, it should be investigated as suggested above. Greater investigation depths should always be selected where unfavourable geological conditions, such as weak or compressible strata below strata of higher bearing capacity, are presumed.



- Core samples
- Pressumeter tests
- ▼ Penetration tests
- ★ Seismic diagraphy
- ◻ Standard Penetration Test

Exemple 1

Exemple 2



Chapitre 5.4 Calcul géotechnique

- 5.4.1 Risques géotechniques (1p)
- 5.4.2 Principes du calcul géotechnique (7p)

Généralités. Situations de calcul géotechnique. ELU et ELS. Valeurs caractéristiques et de calcul. La sécurité dans le calcul géotechnique aux ELU. Le contrôle d'aptitude au service aux ELS. Valeurs suggérées des facteurs de sécurité et de mobilisation. Analyses probabilistes.
- 5.4.3 Étude des états limites (18p)

Inventaire des états limites. Rupture de talus sous charges hydrauliques et de pesanteur. Capacité portante. Réponse dynamique à un impact de vague. **Calcul de la résistance aux séismes (7p)**. **Soulèvement, érosion interne, instabilité des filtres granulaires et géotextiles (6p)**. Tassement ou déformation sous charges hydrauliques et de pesanteur. **Modélisation numérique et physique (2,5p)**

(.../...)

Chapitre 5.4 Calcul géotechnique

- 5.4.4 Propriétés géotechniques des sols et des roches (8p)
Généralités. Similitudes et différences entre les sols et les roches. Détermination des propriétés géotechniques des sols et des roches. Perméabilité des massifs d'enrochements (2p). Résistance au cisaillement des matériaux granulaires (2p). Rigidité des sols et des enrochements.
- 5.4.5 Pressions et écoulements interstitiels (15p)
Généralités. Pressions interstitielles dues à des actions stationnaires et quasi-stationnaires (4p). Pressions interstitielles dues à des actions non stationnaires (10p).
- 5.4.6 Rapport de calcul géotechnique (0,5p)
Références bibliographiques (0,5p)

Auparavant

5.2.1 Approche (1p)

5.2.2 Paramètres (5,5p)

5.2.3 Liste des aspects géotechniques 1p

5.2.4 Bases physiques 6p

5.2.5 Modèles et simulation 6p

5.2.6 Types de modèles 0,5p

5.2.7 Applications des modèles 3p

5.2.8 Formules pratiques et expérience de l'ingénieur (21p)

5.2.9 Application des analyses proba 2