

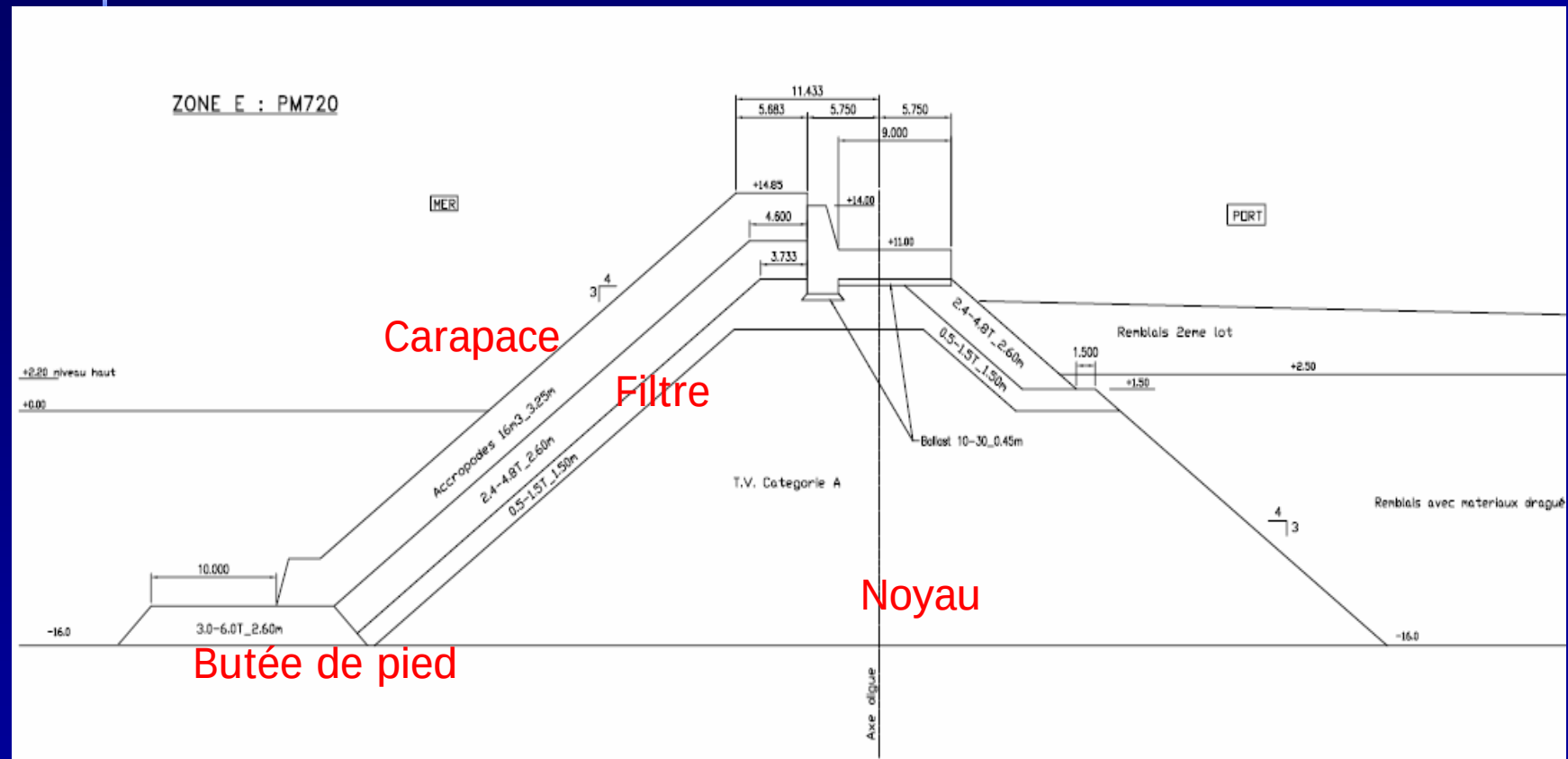


Digues maritimes en enrochements : la problématique des ressources en matériaux

Plan de l'exposé

1. Fonctionnalités des composants d'une digue en enrochements
2. Propriétés requises pour les matériaux
3. Etapes nécessaires à la qualification d'un gisement
4. Aménagements en carrière

Composition d'une digue à talus



Fonctionnalités requises pour la carapace

- Résister aux chargements hydrodynamiques de toute nature
 - Dissiper les réflexions des vagues
 - Éviter les affouillements en pied
 - Satisfaire à certains critères esthétiques
- ➔ Propriétés recherchées lors de la mise en place :
- Densité
 - Porosité
 - Accrochage / enchevêtrement
 - Rugosité
 - Épaisseur

Fonctionnalités requises pour le filtre

- Contribuer à la dissipation de l'énergie emmagasinée par la carapace (on recherche un écoulement turbulent à travers les vides)
- Empêcher la migration hydraulique des particules fines du noyau et les phénomènes de renard
- Régulation de pression interstitielle
- Résistance pour supporter les charges apportées par la carapace
- ➔ Propriétés recherchées lors de la mise en place :
 - Densité, perméabilité
 - Résistance au cisaillement
 - Frottement interne

Fonctionnalités requises pour le noyau

- Réguler la transmission des vagues
 - Développer une résistance suffisante pour supporter l'ensemble de la structure
 - Avoir une compacité suffisante pour éviter des tassements postérieurs à la construction
- ➔ Propriétés recherchées lors de la mise en place :
- Densité,
 - Résistance au cisaillement
 - Frottement interne, cohésion, dilatance
 - Perméabilité
- + **pour tous les composants : maintien de ces propriétés dans le temps**

Propriétés intrinsèques du matériau (gisement)

- Couleur ↔ *critères esthétiques*
- Densité ↔ *stabilité hydraulique*
- Absorption d'eau / porosité ↔ *résistance à la dégradation*
- Discontinuités in-situ ↔ *taille et forme des blocs*
- Degré d'altération ↔ *dégradation*
- Résistance à la fragmentation et à l'abrasion ↔ *résistance à la dégradation pendant la mise en œuvre puis en service*

Essais visant à caractériser un matériau / un gisement

- Analyse minéralogique et pétrographique
- Mesure de densité et d'absorption d'eau (NF EN 1097-6)
- Essai de résistance à la compression simple, Point Load Index
- Résistance à la fragmentation - Essai Los Angeles (NF EN 1097-2)
- Résistance à l'usure – Essai Micro-Deval (NF EN 1097-1)
- Altérabilité – Essai au sulfate de Magnésium (NF EN 1367-2)
- Qualification des fines – Essai au bleu de méthylène (NF EN 933-9)

Quality and durability guide (not intended for specification purposes)					
Criteria	Reference	Excellent	Good	Marginal	Poor
Petrographic evaluation	Trained Petrographer	**	**	**	**
Mass density, ρ_{rock} (t/m ³)	EN 13383-2:2002	>2.7	2.5-2.7	2.3-2.5	<2.3
Water absorption (%)	EN 13383-2:2002	<0.5	0.5-2.0	2.0-6.0	>6.0
Microporosity/Total porosity (%)	Lienhart (2003)	<2	2 to 6	6 to 20	>20
Methylene Blue Adsorption (g/100g)	Verhoef (1992)	<0.4	0.4-0.7	0.7-1.0	>1.0
Compressive Strength (MPa)	EN 1926:1999	>120	120-80	80-60	<60
Schmidt impact index (% rebound)	ISRM (1988)	>60	50-60	40-50	<40
Sonic Velocity (km/s)	EN 14579:2004	>6	4.5-6	3-4.5	<3
Point Load Strength (MPa)	ISRM (1985)	>8	4-8	1.5-4	<1.5
Fracture toughness (MPa.m ^{1/2})	ISRM (1988)	>1.7	1.0-1.7	0.6-1.0	<0.6
Indirect Tensile (Brazilian) Strength (MPa)	ASTM D3967-95a (2004) ISRM (1978)	>10	5-10	2-5	<2
Los Angeles (% loss)	EN 1097-2:1998	<15	15-25	25-35	>35
Micro-Deval (% loss)	EN 1097-1:1996	<10	10-20	20-30	>30
MgSO ₄ Soundness (% loss)	EN 1367	<2	2-10	10-30	>30
Freeze-thaw (% loss)	EN 13383-2:2002	<0.5	0.5-1	1.0-2	>2
Sonic velocity reduced by freeze-thaw (% change) ***	Section 3.8.6	<5	5-15	15-30	>30
Wet-dry (% loss)	ASTM D5313-04	<0.5	0.5-1	1.0-2	>2

Caractéristiques du matériau idéal

Caractéristiques	Carapace	Filtre	Noyau
Degré d'altération	Frais ou légèrement altéré		
Espacement des discontinuités	1.00 m +	0.5 m +	0.2 m +
RQD (%)	80-100	75-100	55-100
Absorption d'eau (%)	< 2 %	< 2.5 %	< 3 %
Résistance à la compression simple (MPa)	> 100	> 100	> 50
Densité de la roche (kg/m ³)	> 2600	> 2600	> 2000

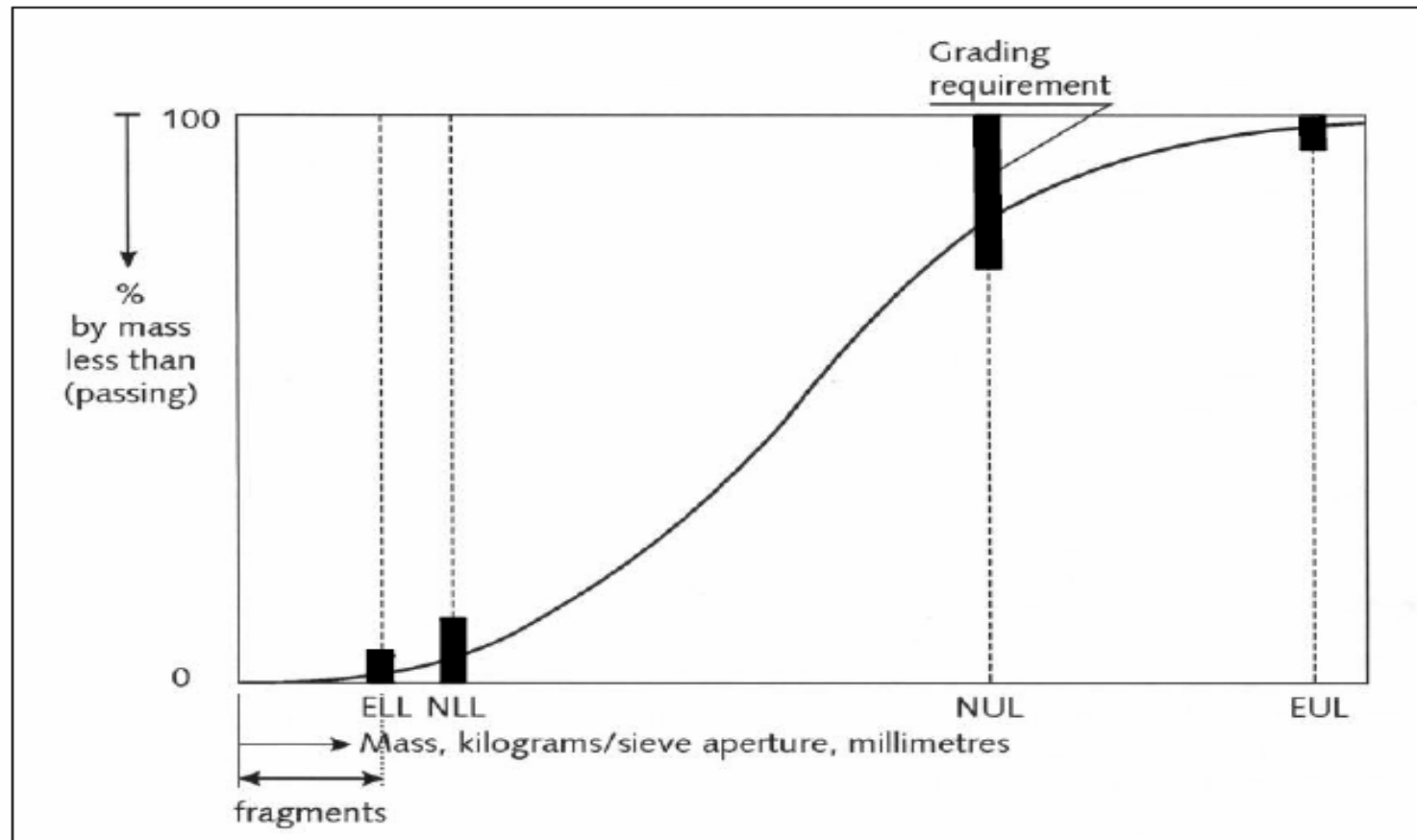
Parfois quelques déconvenues...



Propriétés obtenues lors de la fabrication en carrière

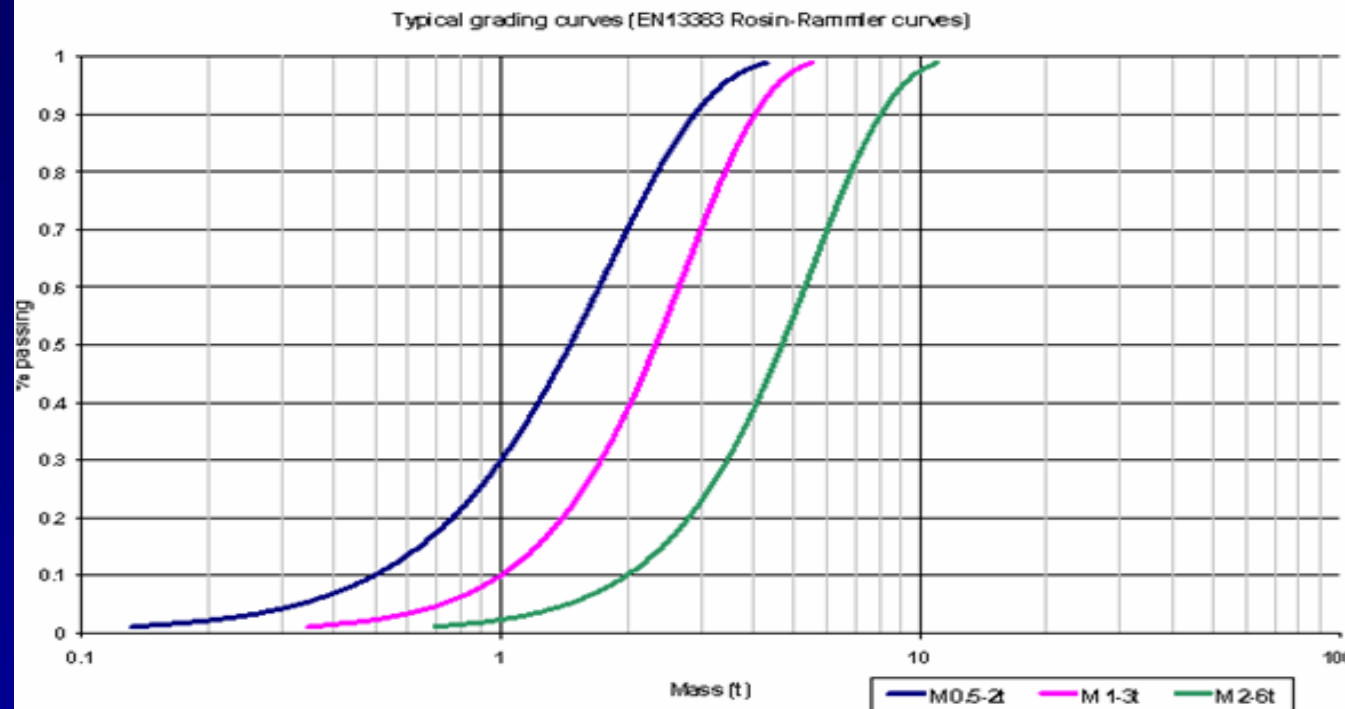
- Intégrité du bloc
 - Poids moyen du bloc (W_{50})
 - Granularité (« grading ») (ex. W_{85}/W_{15})
 - Forme du bloc (rapport L/d)
- ➔ Nécessité de modèles prédictifs de la distribution blocométrique in-situ avant et après abattage.

Propriétés obtenues lors de la fabrication en carrière : dimensions et poids requis



Propriétés obtenues lors de la fabrication en carrière : dimensions et poids requis

THEORETICAL GRADING CURVES



M 1kg-0.5t

% passing

ELL 5%

NLL 10%

NUL 70%

EUL 97%

M 0.5-2t

% passing

ELL 5% 0.3t

NLL 10% 0.5t

NUL 70% 2.0t

EUL 97% 4.0t

M 1-3t

% passing

ELL 5% 0.7t

NLL 10% 1.0t

NUL 70% 3.0t

EUL 97% 4.5t

M 2-6t

% passing

ELL 5% 1.5t

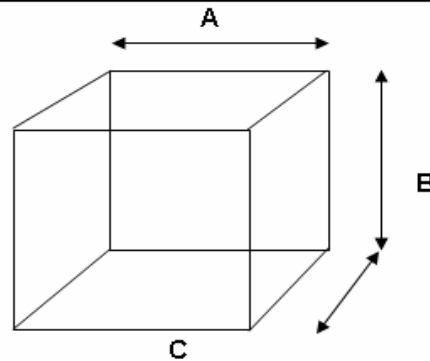
NLL 10% 2.0t

NUL 70% 6.0t

EUL 97% 10.0t

Propriétés obtenues lors de la fabrication en carrière : dimensions et poids requis

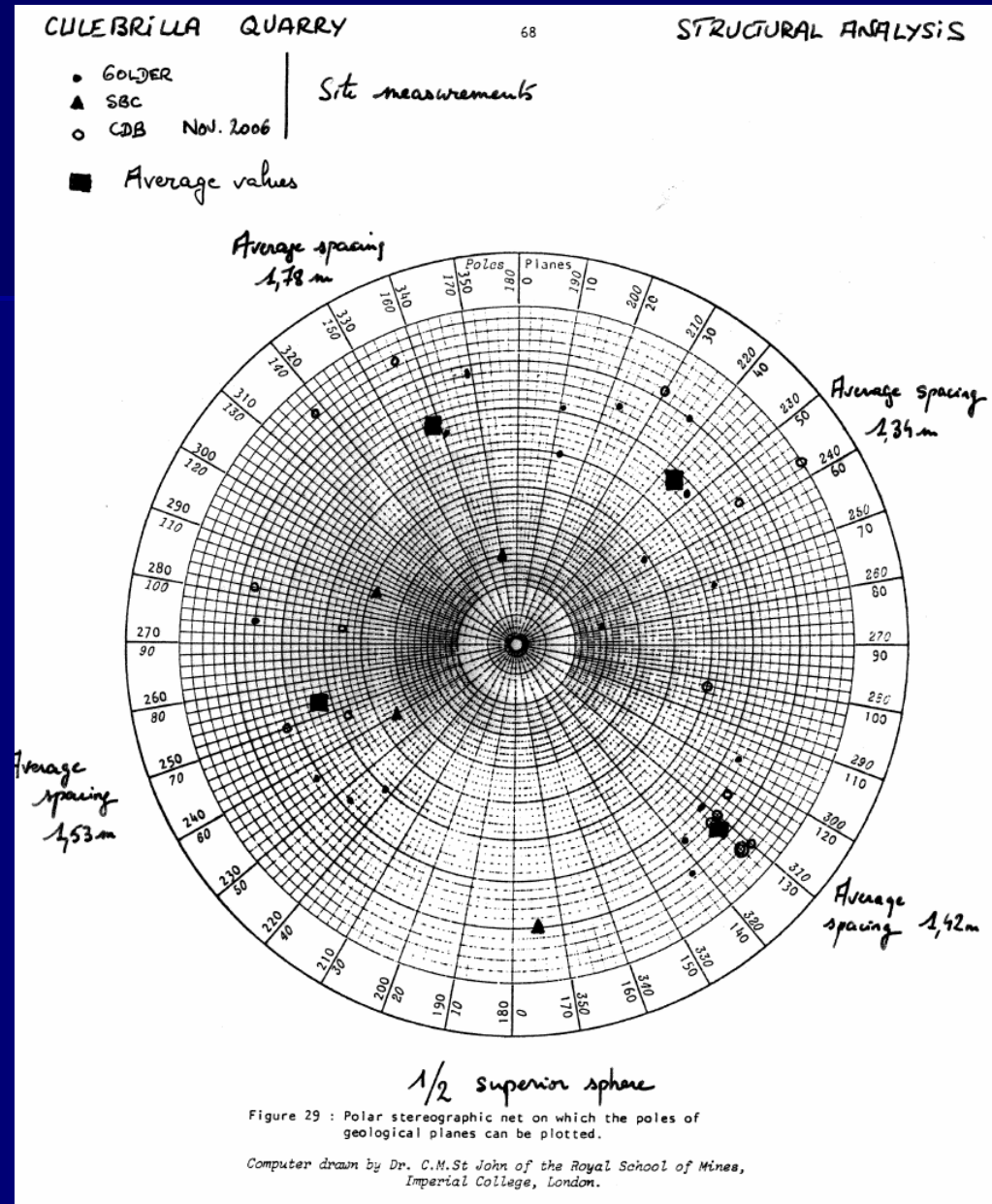
ROCK DIMENSIONS AND WEIGHT FOR BREAKWATER AND RLOF



										%passing			
										5%	10%	70%	97%
										ELL	NLL	NUL	EUL
CORE (C)										N/D	N/D	N/D	N/D
CORE (D)										300kg	500kg	2000kg	4000kg
FILTER (B)										300kg	500kg	2000kg	4000kg
ANTISCOUR (B2)										300kg	500kg	2000kg	4000kg
REAR ARMOUR (A)										1500kg	2000kg	6000kg	10000kg
TOE OF BCR (A2)										700kg	1000kg	3000kg	4500kg
DIMENSIONS (M)	1kg	500kg	1000kg	2000kg	3000kg	4000kg	6000kg	8000kg	10000kg	LEGEND: ELL - EXTREME LOWER LIMIT NLL - NOMINAL LOWER LIMIT NUL - NOMINAL UPPER LIMIT EUL - EXTREME UPPER LIMIT			
Form Factor	3	2	2	2	2	2	2	2	2				
A (min dia)	0.055	0.400	0.500	0.600	0.700	0.900	1.050	1.160	1.250				
B (max dia)	0.100	0.800	1.000	1.200	1.400	1.800	2.100	2.320	2.500				
C	0.070	0.601	0.770	1.068	1.177	0.950	1.047	1.152	1.232				
VOLUME (M3)	0.0004	0.19	0.39	0.77	1.15	1.54	2.31	3.10	3.85				
g (t/m3) "in situ"	2.6												

Analyse du gisement

- Analyse structurale du gisement (pendage, azimut, espacement, extension des discontinuités...)

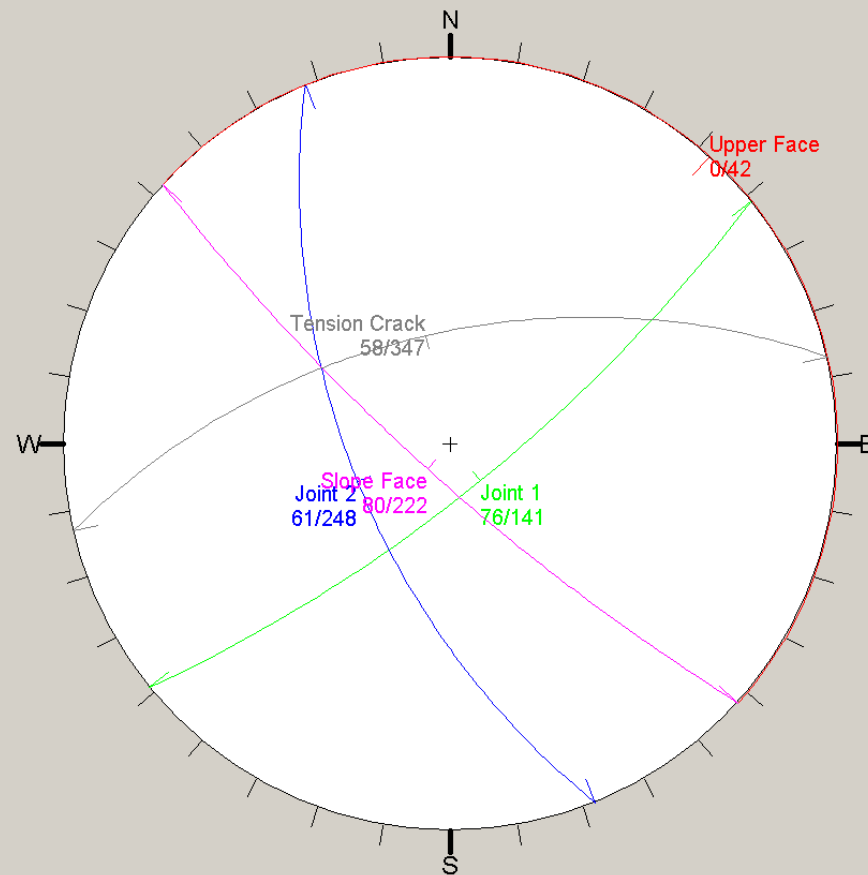


Analyse du gisement



Analyse du gisement

■ Etablissement d'un stéréogramme



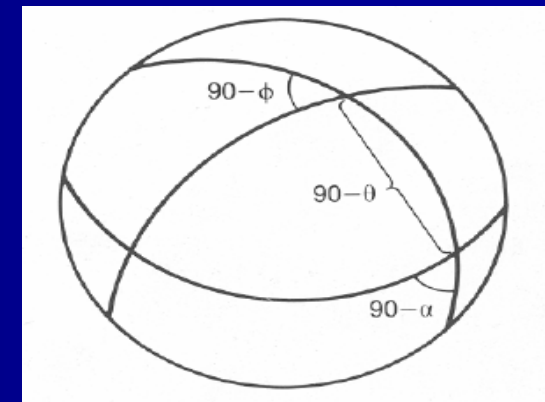
Un exemple de modèle prédictif de la blocométrie in-situ : le modèle de WANG et al.

Ref. : WANG, LATHAM and POOLE « In-situ block size assessment from discontinuity spacing data (1990) / Predictions of block size distribution for quarrying (1991) »

$$V_i = C_i * (\gamma_1 \gamma_2 \gamma_3) / [\cos(\theta) \cos(\phi) \cos(\alpha)] \quad i = 10, 20, \dots, 100$$

Coefficients and their 90% confidence intervals

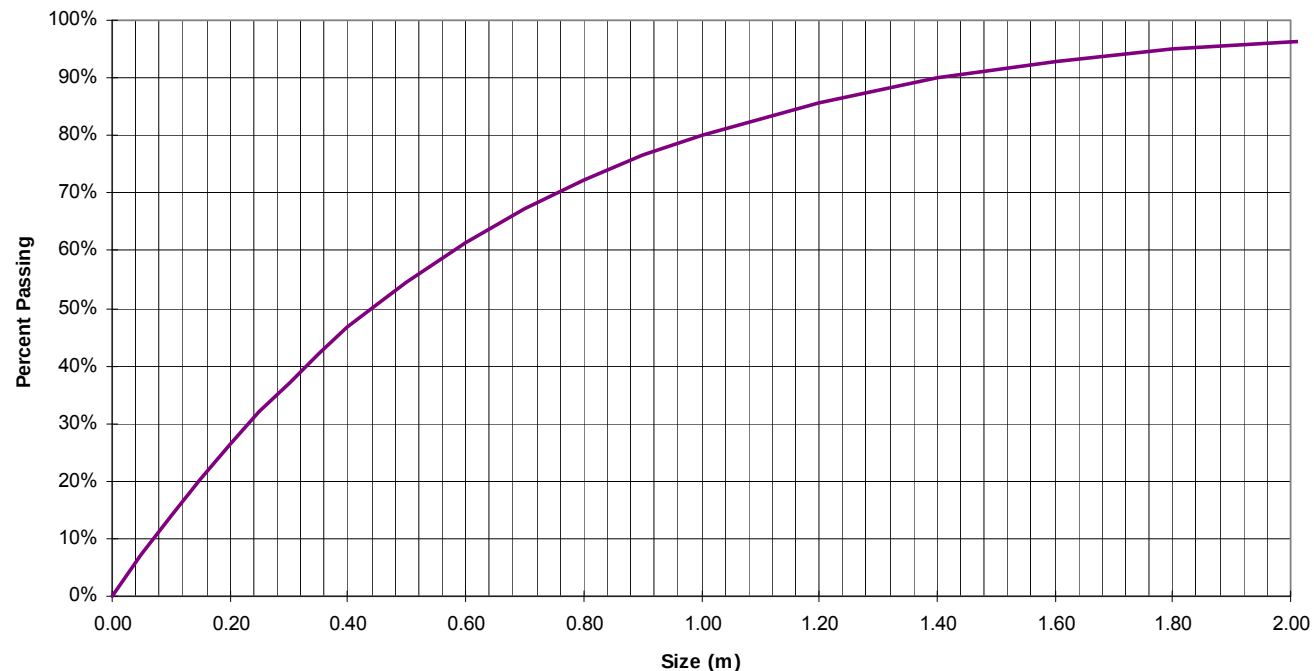
$V_i(m^3)$	Coefficient C_i	90% confidence intervals
V_{10}	0.322	± 0.131
V_{20}	0.710	± 0.249
V_{30}	1.207	± 0.424
V_{40}	1.852	± 0.645
V_{50}	2.708	± 0.984
V_{60}	3.980	± 1.550
V_{70}	5.867	± 2.597
V_{80}	8.948	± 4.515
V_{90}	15.332	± 9.531
V_{100}	38.922	± 23.734



Modèle prédictif de la blocométrie après abattage

KUZ-RAM FRAGMENTATION ANALYSIS						
PROJECT : MELCHORITA						
SITE : CULEBRILLAS Test 2				Notes		
Prediction model 3 X 2.5				Square pattern = 1, staggered pattern = 1.1		
Intact Rock Properties				Blasting pattern design		
Rock Factor				Staggered or square	1	
Rock Type	Granodiorite			Hole Diameter (= ANFO diameter)	76	mm
Rock Specific Gravity	2.65	SG		Slurry / Dynamite cartridge diameter	60	mm
Elastic Modulus	60	GPa		Bottom charge length	1.00	m
UCS	100	MPa		Bottom charge explosive type	dynamite	
				Bottom charge explosive weight	4.10	kgs
				Mass energy	17.42	MJ
Jointing				Column charge length	7.00	m
Spacing	1.4	m		Column charge explosive type	ANFO	
Dip	65	deg		Column charge explosive weight	26.99	kgs
Dip Direction	248	deg		Mass energy	80.98	MJ
Average In-situ block size X	5	m		Charge Length	8.00	m
				Burden	3.00	m
				Spacing	2.50	m
Explosives				Drill Accuracy SD	0.50	m
Type of explosives	Dynamite + ANFO			Bench Height	10.00	m
Relative weight strength RWS	105%	(% ANFO)		Face Dip Direction	222	deg
Nominal VOD	3500	m/s		Charge Weight per hole	31.09	kg/hole
Effective VOD	3100	m/s		Charge Density	0.41	kg/m³
Explosive Strength	0.83			Powder Factor	0.156	kg/ton
				Fragmentation Target Parameters		
				Oversize	1.3	m
				Optimum	0.5	m
				Undersize	0.07	m

Modèle KUZ-RAM



- % passant = $1 - \exp(-(S/S_{63.2})^n)$ équation ROSIN-RAMMLER (distribution de WEIBULL calée à 63.2 %)

Percent Passing	Size (m)	Av.Weight (t)
0.0%	0	0
7.0%	0.05	0.000
13.9%	0.10	0.003
20.3%	0.15	0.009
26.4%	0.20	0.021
32.0%	0.25	0.041
37.2%	0.30	0.072
42.1%	0.35	0.114
46.6%	0.40	0.170
50.7%	0.45	0.241
54.6%	0.50	0.331
61.5%	0.60	0.572
67.3%	0.70	0.909
72.3%	0.80	1.357
76.6%	0.90	1.932
80.2%	1.00	2.650
85.8%	1.20	4.579
89.9%	1.40	7.272
92.8%	1.60	10.854
94.9%	1.80	15.455
96.4%	2.00	21.200
98.5%	2.50	41.406
99.4%	3.00	71.550
99.9%	4.00	169.600

Modèle KUZ-RAM : $n = f$ (paramètres abattage)

$$n_{RRD} = \left(2.2 - 14 \frac{B}{d} \right) \cdot \left\{ 0.5 \left(1 + \frac{S}{B} \right) \right\}^{0.5} \cdot \left(1 - \frac{W}{B} \right) \cdot \left\{ \text{abs} \left(\frac{BCL - CCL}{L} \right) + 0.1 \right\}^{0.1} \cdot \frac{L}{H}$$

where

d = blasthole diameter (mm), typically minimum of 70 mm

B = burden (m), see Figure 3.55

S = spacing between blastholes (m)

BCL = bottom charge length (m)

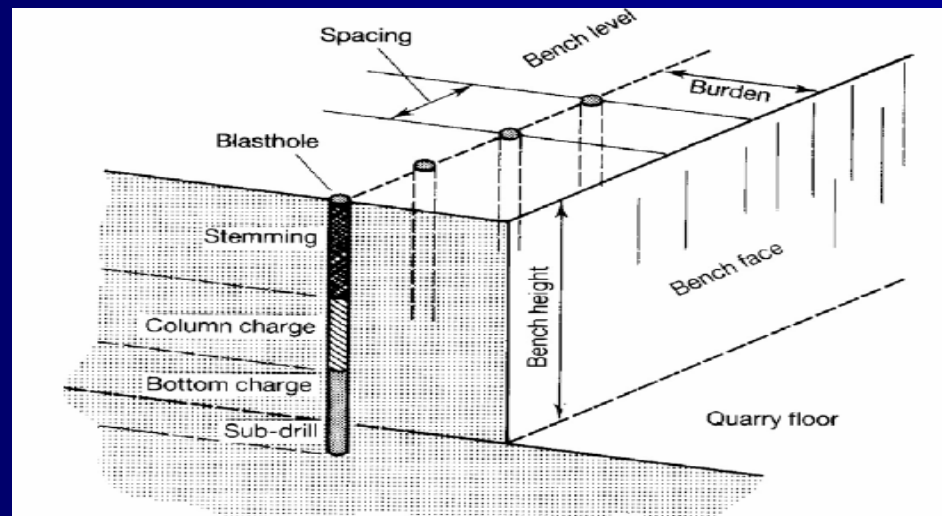
abs = absolute value of

CCL = column charge length (m)

L = total charge length ($BCL + CCL$) (m)

H = bench height or hole depth (m)

W = standard deviation of drilling accuracy (m).



Calage du modèle par des tirs d'essai

- Mesures in-situ de la dimension des blocs



Figure 6: Measuring rocks with a simple vernier.

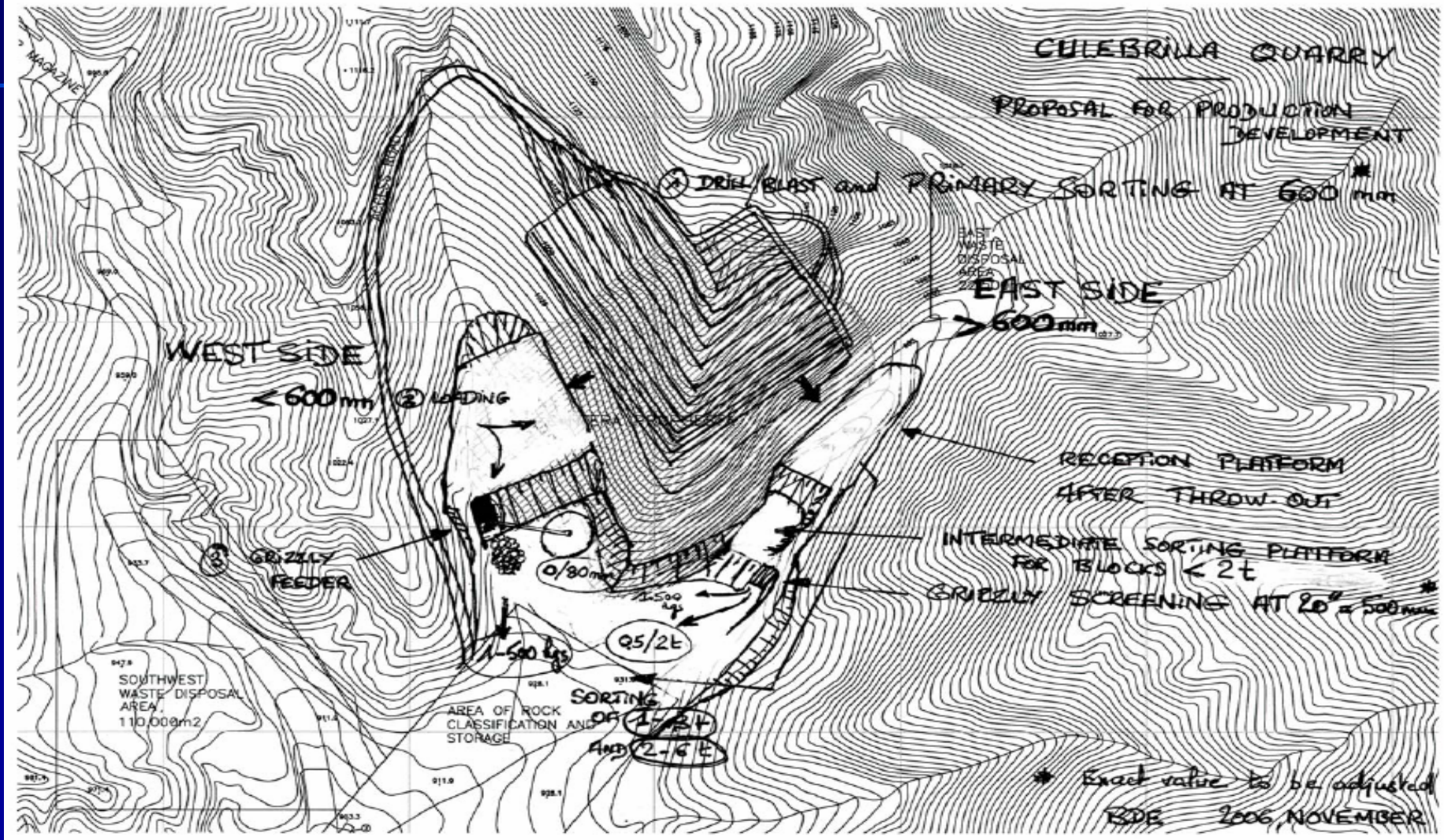
Calage du modèle par des tirs d'essai

- Pesage des blocs



Figure 7: Wheel loader and 15 MT scale in weighing process.

Aménagements en carrière



Aménagements en carrière : grizzly pour élimination des < 70 mm (1KG)



Aménagements en carrière : godet à fentes



Merci de votre attention

