

Partie II

Qualité – durabilité des enrochements

4. Qualité & Durabilité

19

L'ingénieur géologue devra s'assurer de la qualité et de la durabilité de l'enrochement.

- Les propriétés étudiées sont :
 - ***intrinsèques***, ie liées à la roche en place : densité, porosité et absorption, résistance mécanique à l'échelle centimétrique, durabilité ET liées aux discontinuités du massif : intégrité, durabilité
 - ***liées à l'extraction et à la production*** : classe granulaire et intégrité
 - ***liées à la mise en œuvre*** : porosité, épaisseur et perméabilité d'une couche ou d'un massif d'enrochement.
- Les outils disponibles :
 - ***examen géologique*** qualitatif (altération, fracture...)
 - ***indicateurs de faible*** durabilité (minéraux évolutifs, forte porosité)
 - ***systèmes d'évaluation*** (à base d'analyses multicritères),
 - ***modèles de dégradation*** (intégrant l'effet du temps et de l'environnement).

4.a Les types de rupture des enrochements

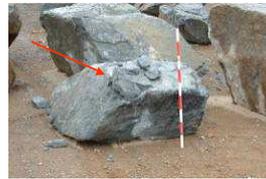
Ruptures majeures

- Propagation de défauts préexistants
- nombre limité de blocs



Ruptures mineures

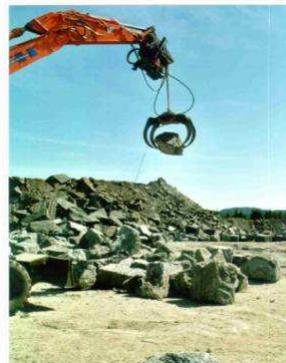
- écrasement des aspérités
- nouvelles fissures
- fragments de qq kg



Journée Technique « enrochements »

4.a Intégrité – essais de chute

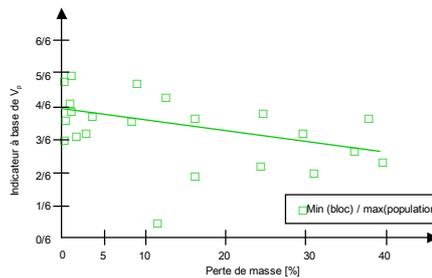
- La prise d'essai doit comporter au moins 30 blocs (conseillé : 50 blocs)
- Le bloc à tester est soulevé à 3 m au dessus d'une enclume de réception, puis lâché verticalement (utiliser un grapin et une chaîne de contrôle pour la hauteur)
- le pourcentage acceptable de blocs cassés (en nombre) est généralement :
 - 5% pour des ouvrages particulièrement exposés,
 - 15% dans le cas d'ouvrages normalement exposés,
 - 30% dans le cas d'ouvrages peu exposés.



Journée Technique « enrochements »

4.a Intégrité : Indice de continuité

- La prise d'essai doit comporter au moins 30 blocs - Vitesse de propagation des ondes P, mesurée dans 3 directions – chaque bloc est caractérisé par la valeur mini.
- Pour entrer dans une catégorie, les résultats doivent respecter les 2 conditions :
 - La valeur moyenne en nombre sur les blocs doit être supérieure à X,
 - Moins de 10% des blocs ont une valeur inférieure à X.
- 3 catégories indicatives :
 - Ic80, Ic70 et Ic60
- Degré de fissuration
 - Il permet d'estimer la perte d'Ic due à la fissuration
 - $Df = 100 - Ic - 1.4n$
 - $Df < 20\%$



Journée Technique « enrochements »

4.a Intégrité de l'enrochement

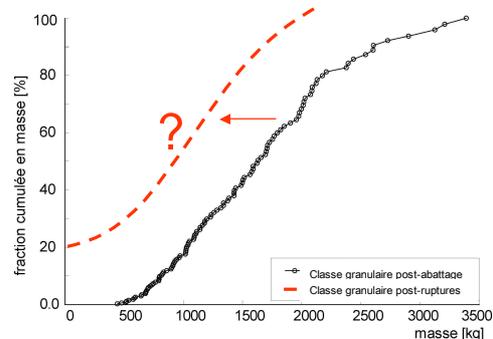
Rupture mineure



Rupture majeure

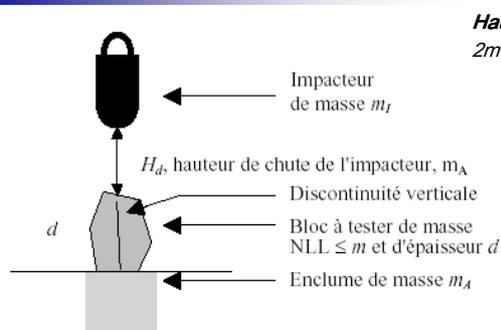


- Quelle est la blocométrie réelle ? à la livraison, à la construction, en service
- En minimiser et/ou quantifier les effets ?



Journée Technique « enrochements »

4.a Intégrité : *Essai de fendage in-situ*



Hauteur de chute :
2m pour $R_t=7.4\text{MPa}$

Impacteur de masse m_I

H_d , hauteur de chute de l'impacteur, m_A

Discontinuité verticale

Bloc à tester de masse $NLL \leq m$ et d'épaisseur d

Enclume de masse m_A

Impacteur :
 $m_I = (NLL+NUL)/2$
 : 2 tonnes
 $D_I = [(NLL+NUL)/2\rho]^{1/3}$
 : 91cm

Enclume :
 $m_A = NUL$
 : 4.5-5 tonnes





Journée Technique « enrochements »

4.b La forme



Journée Technique « enrochements »

4.c Résistance à l'usure



Journée Technique « enrochements »

4.d Durabilité et stabilité



Journée Technique « enrochements »

5. Les aspects normatifs

Ancien référentiel	Nouveau référentiel
- Pas de normes spécifiques - guide technique 'les enrochements' du LCPC-CETMEF (1989)	- NF EN 13 383-1 spécifications - NF EN 13 383-2 méthodes d'essais > Norme harmonisée > Annexe ZA : Marquage CE uniquement pour les enrochements utilisés en ouvrages hydrauliques de protection ou de régulation P 18-662 'Modalité d'application des normes NF EN 13 383-1 et NF EN 13 383-2' : <i>application volontaire</i>
	Guide technique 'Rock Manual' : <i>application volontaire</i>

Journée Technique « enrochements »

5. Marquage = mise sur le marché

CE		
01234		
Any Co Ltd, PO Box 21, B-1050		
02		
0123-CPD-0456		
EN 13383-1		
Aggregates obtained by processing natural, manufactured or recycled materials and mixtures of these materials for use as armourstone		
Particle shape	Category	(e.g. I, T, U)
Particle size	Categories	(e.g. CP ₁₀₀₀ , LMA ₂ /40, HM ₃₀₀ /1000)
Particle density	Declared value	(Mam ³)
Resistance to fragmentation/crushing	Category	(e.g. CS ₂₀)
Resistance to breakage		
Resistance to attrition	Category	(e.g. M ₂₅ /10)
Release of dangerous substances	e.g. Substance X: 0.2 µm ³	
Durability against weathering	Declared value	(Visual - Pass/fail)
Dicalcium silicate disintegration of air-cooled blastfurnace slag	Declared value	(Visual - Pass/fail)
Iron disintegration of air-cooled blastfurnace slag	Declared value	(Visual - Pass/fail)
Disintegration of steel slag	Category	(e.g. DS ₁)
Durability against freeze/thaw	Category	(e.g. FT ₃)
Durability against salt crystallisation	Category	(e.g. MS ₂)
Durability against weathering	Category	(e.g. SA ₁)

- Pour chaque propriété :
 - Valeur standard : eg HMA300-1000
 - Valeur déclarée par le producteur
 - APD
 - Valeur non requise dans le pays
- Dans le cadre d'un **marché spécifique** :
 - des propriétés complémentaires peuvent être demandées
 - Des essais complémentaires peuvent être requis
- 2 Niveaux :
 - Niveau 4 : déclaration par le producteur
 - Niveau 2+ : déclaration et certification du système qualité

Journée Technique « enrochements »

5. Les propriétés dans la norme

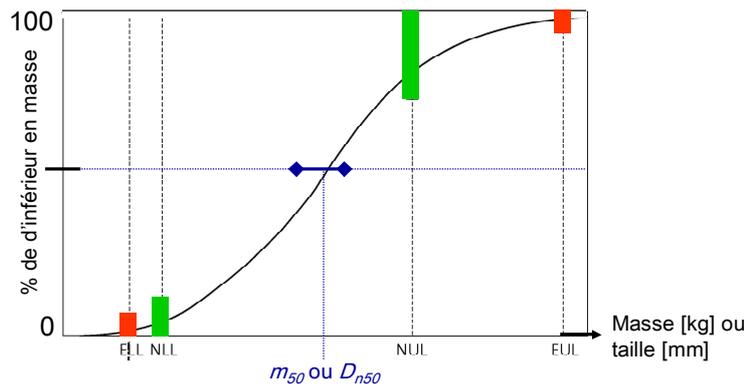
- **Caractéristiques géométriques** : Classes granulaires, Forme, Proportion des surfaces cassées
- **Caractéristiques physiques et mécaniques**: Masse volumique, Résistance à la fragmentation, Résistance à l'usure, Caractéristiques associées au scellement, Couleur
- **Caractéristiques chimiques** : Impuretés, Constituants solubles à l'eau
- **Caractéristiques de durabilité** : Absorption d'eau, Résistance au gel-dégel, Résistance à la cristallisation des sels, Coup de soleil

5.a Classe granulaire



5.a Classe granulaire

- **La Classe granulaire de l'enrochement** est la désignation normalisée des enrochements en terme de:
 - limites nominales, à rapprocher de spécifications à atteindre
 - limites extrêmes, à rapprocher de tolérances



5.a Classe granulaire

- Les **catégories standard A** d'enrochement sont définies par :
 - Des limites nominales & des limites extrêmes
 - Une gamme de masse moyenne
- Les **catégories standard B** d'enrochement sont définies par des limites nominales & des limites extrêmes (uniquement)
- **Trois familles** de classes granulaires :
 - Petit enrochement : 45mm < NLL et NUL < 250mm
 - Enrochement moyen : 5kg < NLL et NUL < 300kg
 - Gros enrochement : 300kg < NLL

5.a Les enrochements moyens (kg)

Classes:	A&B	A&B	A	A&B	A&B
Catégorie	ELL	NLL	Moyenne*	NUL	EUL
LMA 5/40	1.5 kg	5 kg	10 à 20	40 kg	80 kg
LMA 10/60	2 kg	10 kg	20 à 35	60 kg	120 kg
LMA 40/200	15 kg	40 kg	80 à 120	200 kg	300 kg
LMA 60/300	30 kg	60 kg	120 à 190	300 kg	450 kg
LMA 15/300	3 kg	15 kg	45 à 135	300 kg	450 kg
% en masse inférieur à la masse des blocs	0-2	0-10	Plage pour la moyenne	70-100	97-100

Attention : $m_{\text{moyen}} \neq m_{50}$

Journée Technique « enrochements »

5.b La forme

- Proportion de blocs avec $L/E < 3$

Rapport L/E supérieur à 3			Catégorie
% en masse		% en nombre	
Petit enrochement	Enrochement moyen	Enrochement lourd	LT
≤ 20	≤ 20	≤ 5	LT _A

- Pour des usages spécifiques, les exigences complémentaires du guide LCPC-CETMEF peuvent être requises $(L+G)/2E < 2$ ou 2.5



Journée Technique « enrochements »

5.c Propriétés physiques et mécaniques

- **Masse volumique** $\geq 2.3 \text{ tm}^3$ – sinon problème de durabilité possible
- **Résistance mécanique** :
 - Catégorie CS80 ($R_c \geq 80 \text{ Mpa}$) en carapace et filtre
 - Catégorie CS60 ($R_c \geq 60 \text{ Mpa}$) pour un usage non-sollicité
- **Intégrité** : pas de recommandations
- **Absorption** :
 - catégorie $WA_{0.5}$ (absorption ≤ 0.5) : pas de problème de durabilité à priori
 - dans le cas contraire, il est nécessaire de réaliser des essais de durabilité (gel-dégel, résistance au sel, etc...)

5.d Résistance à l'usure

- La résistance à l'usure est mesuré à l'essai de l'essai Micro-Deval :

catégorie	Suggestions d'usage des catégories
MDE ₁₀ (ie ≤ 10)	Environnement extrêmement abrasif, comme mers avec de fréquentes tempêtes et interaction entre l'ouvrage et des galets, torrents
MDE ₂₀ (ie ≤ 10)	Environnement très abrasif, comme mers avec des tempêtes occasionnelles avec plage de galets ou de sable
MDE ₃₀ (ie ≤ 10)	Environnement modérément abrasif, comme mers avec de grosses vagues occasionnelles ou une action du courant chargé de sédiment

5.e Durabilité

Zone d'exposition	Conditions d'exposition	
	Méditerranéen	Océanique et continental
Zones submergées en permanence (comprenant les zones immergées situées au-dessous de la profondeur de pénétration du gel dans les régions soumises au gel)	modérées	modérées
Saturation partielle ou totale en eau douce	modérées	sévères
Saturation partielle ou totale en eau salée	sévères	sévères
	Modérées	Sévères
Gel-dégel : climat océanique et continental	Catégorie NR	Catégorie A
Résistance au sel : climat méditerranéen	Catégorie NR	Catégorie A
Climat méditerranéen ⇒ résistance au gel non-requise		

Journée Technique « enrochements »