

## Partie II

### Qualité – durabilité des enrochements

#### 4. Qualité & Durabilité

19

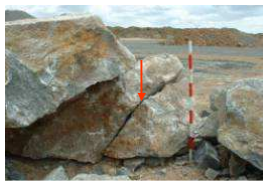
L'ingénieur géologue devra s'assurer de la qualité et de la durabilité de l'enrochement.

- 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

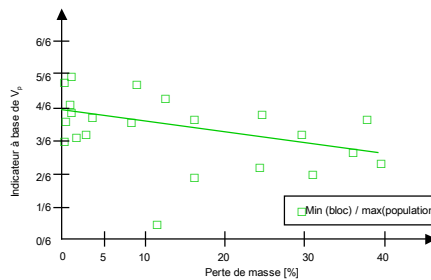
- La prise d'essai doit comporter au moins 30 blocs (conseillé : 50 blocs)
- Le bloc à tester est soulevé à 3 m au dessus d'une enclume de réception, puis lâché verticalement (utiliser un grapin et une chaîne de contrôle pour la hauteur)
- le pourcentage acceptable de blocs cassés (en nombre) est généralement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

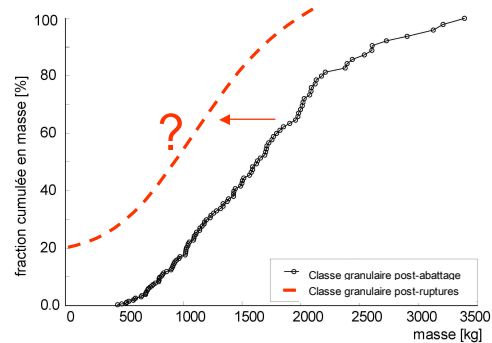
Rupture *mineure*



Rupture *majeure*

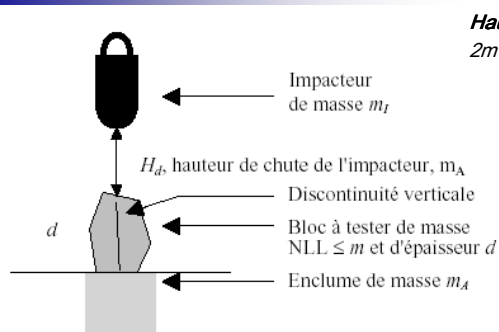


- Quelle est la blocométrie réelle ? à la livraison, à la construction, en service
- En minimiser et/ou quantifier les effets ?



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,  $m_A$

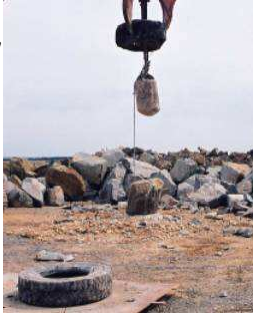


Discontinuité verticale

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

26



Journée Technique « enrochements »

## 4.d Durabilité et stabilité

27



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

<b>CE</b>		
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 <sub>1000</sub> , LMA <sub>2</sub> /40, HM <sub>300</sub> /1000)
Particle density	Declared value	(Mam <sup>3</sup> )
Resistance to fragmentation/crushing	Category	(e.g. CS <sub>20</sub> )
Resistance to breakage		
Resistance to attrition	Category	(e.g. M <sub>25</sub> /10)
Release of dangerous substances	e.g. Substance X: 0.2 µm <sup>3</sup>	
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 <sub>1</sub> )
Durability against freeze/thaw	Category	(e.g. FT <sub>3</sub> )
Durability against salt crystallisation	Category	(e.g. MS <sub>2</sub> )
Durability against weathering	Category	(e.g. SA <sub>1</sub> )

- 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

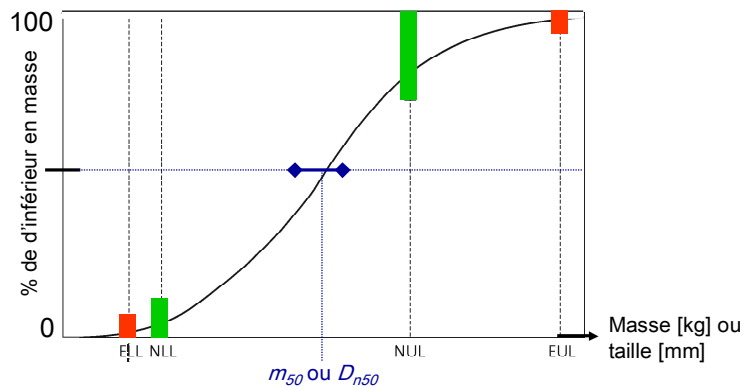
- **Caractéristiques géométriques** : Classes granulaires, Forme, Proportion des surfaces cassées
- **Caractéristiques physiques et mécaniques**: Masse volumique, Résistance à la fragmentation, Résistance à l'usure, Caractéristiques associées au scellement, Couleur
- **Caractéristiques chimiques** : 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 <sub>A</sub>

- 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  $\leq 0.5$ ) : 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 <sub>10</sub> (ie $\leq 10$ )	Environnement extrêmement abrasif, comme mers avec de fréquentes tempêtes et interaction entre l'ouvrage et des galets, torrents
MDE <sub>20</sub> (ie $\leq 10$ )	Environnement très abrasif, comme mers avec des tempêtes occasionnelles avec plage de galets ou de sable
MDE <sub>30</sub> (ie $\leq 10$ )	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)	<b>modérées</b>	<b>modérées</b>
Saturation partielle ou totale en eau douce	<b>modérées</b>	<b>sévères</b>
Saturation partielle ou totale en eau salée	<b>sévères</b>	<b>sévères</b>
	Modérées	Sévères
<b>Gel-dégel : climat océanique et continental</b>	<b>Catégorie NR</b>	<b>Catégorie A</b>
<b>Résistance au sel : climat méditerranéen</b>	<b>Catégorie NR</b>	<b>Catégorie A</b>
Climat méditerranéen ⇒ résistance au gel non-requise		

Journée Technique « enrochements »