



Cerema

Centre d'études et d'expertise sur les risques,
l'environnement, la mobilité et l'aménagement

Recherche et innovation pour des essais plus rapides, plus sûrs et moins coûteux

Auteur : Valéry LE TURDU, Cerema, DTer Ouest – DLRC Angers.

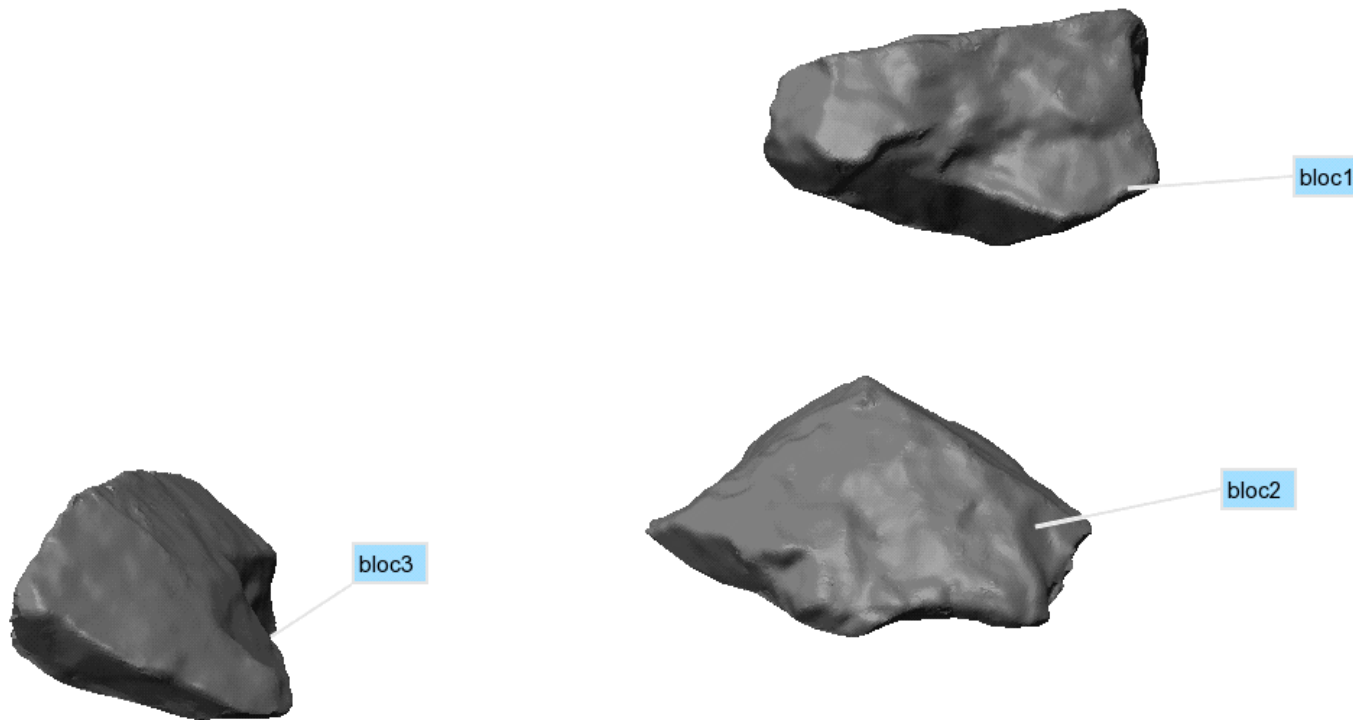
Introduction

- Constat :
 - les essais sont coûteux (en temps, mobilisation de personnels, équipements lourds...),
 - les essais sont nombreux (pesage unitaire des enrochements, mesurage des 3 dimensions, acquisition des vitesses de propagation...),
 - les essais peuvent être dangereux (essai de chute, projections, écrasement...).
- Réflexion et développement d'essais ou de méthodes alternatives.

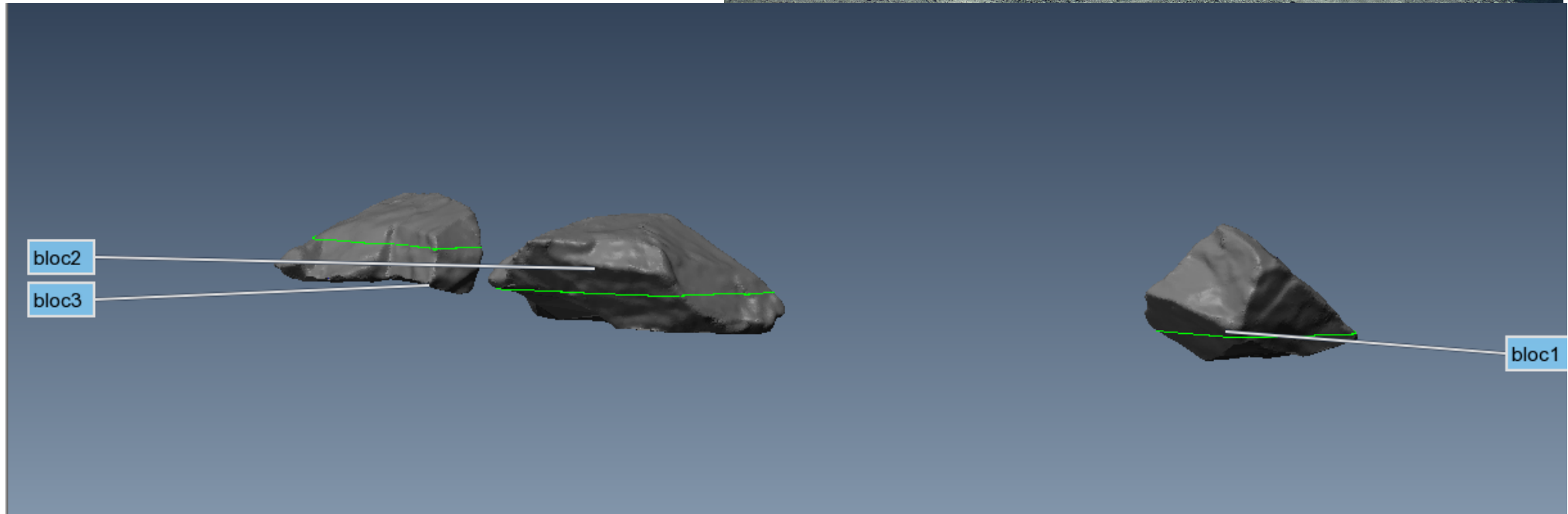
Plan de la présentation

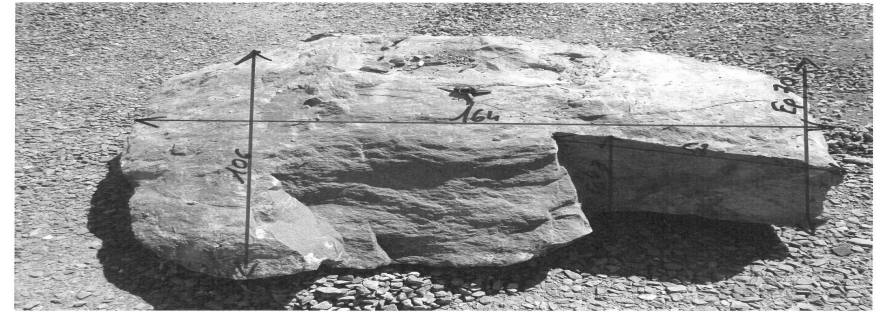
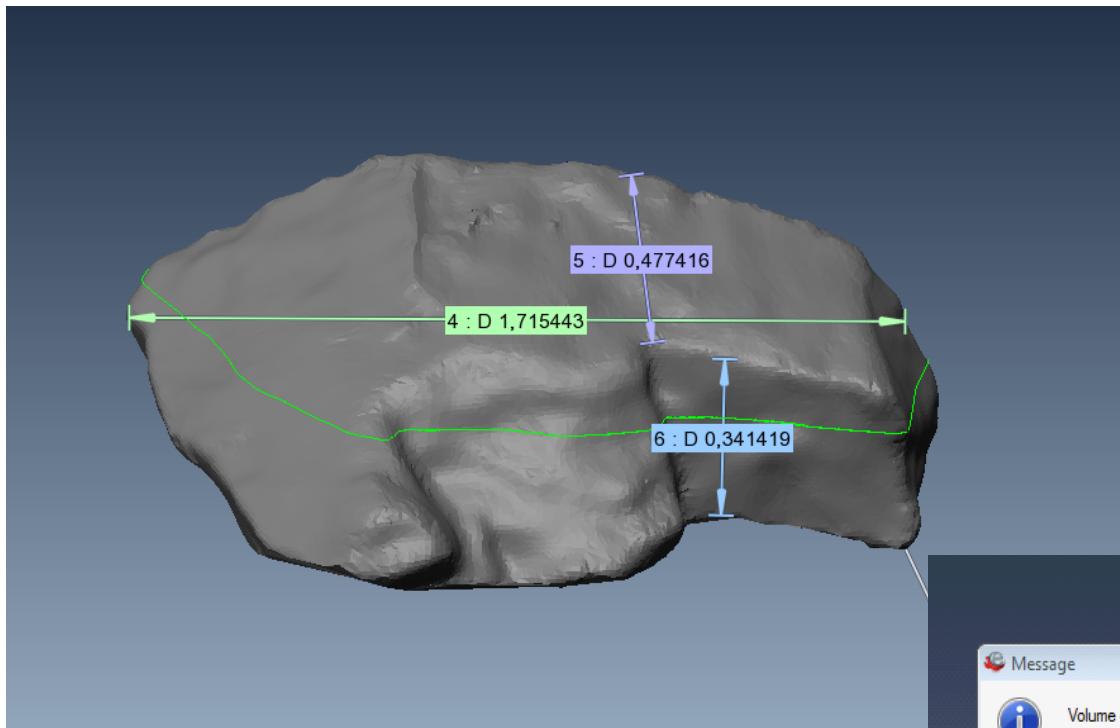
- Étude de faisabilité d'une acquisition tridimensionnelle par SCAN3D.
- Indice de continuité : couplage des mesures de vitesse de propagation de l'onde primaire (compression) et de la distance.
- Blocométrie visuelle à l'aide d'enrochements étalons.

Étude de faisabilité d'une acquisition tridimensionnelle permettant une estimation des masses, une blocométrie, un indice de forme.



- Manipulation en carrière.
- 3 ateliers :
 - N°1 = 3 blocs,
 - N°2 = stock,
 - N°3 = front de taille.
- GMWG10 - enrochements.



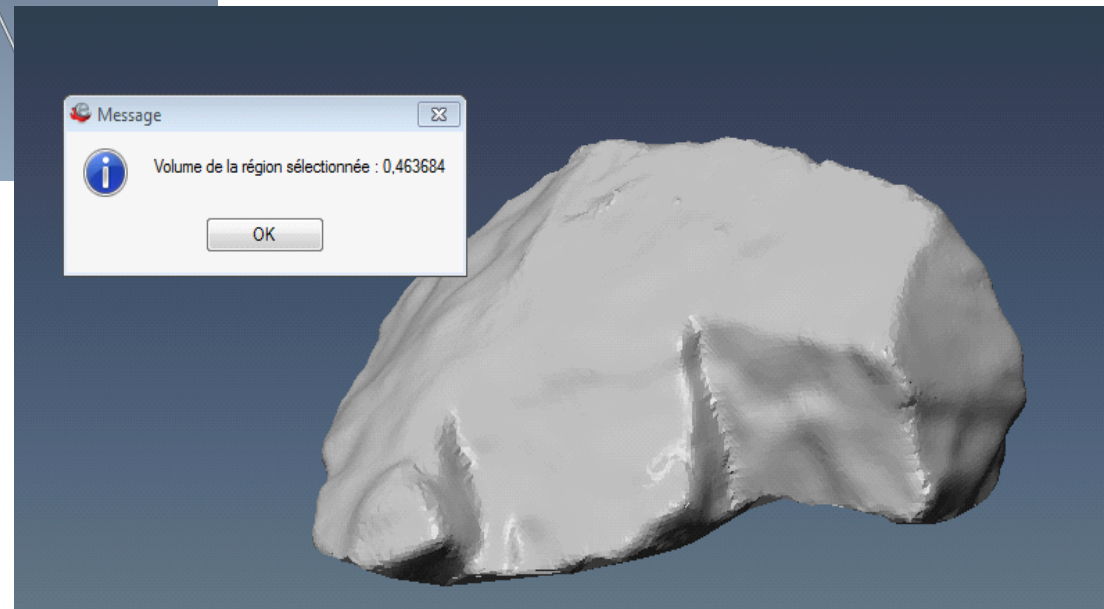


Dimensions calculées / effectives

- longueur = 1,71 m / 1,64 m,
- largeur = 0,47 m / ? ,
- hauteur = 0,34 m / 0,36 m.

Volume de l'enrochement est de $0,4637 \text{ m}^3$

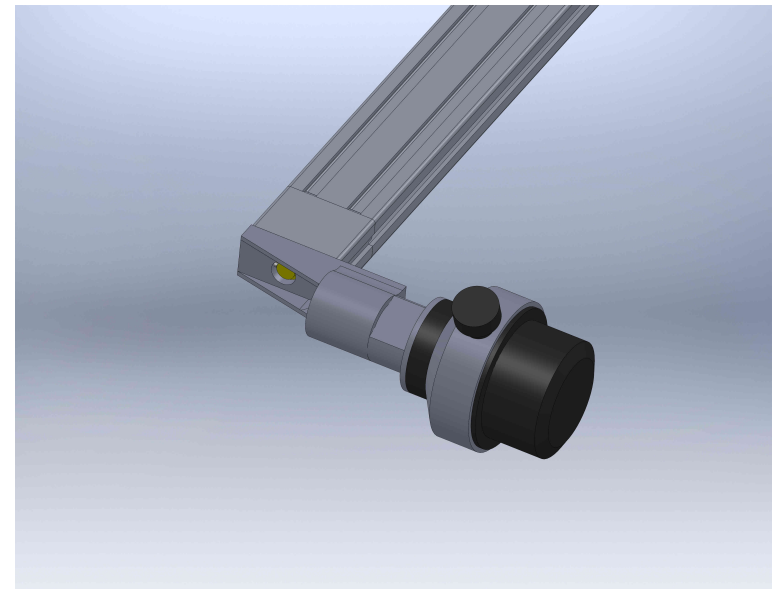
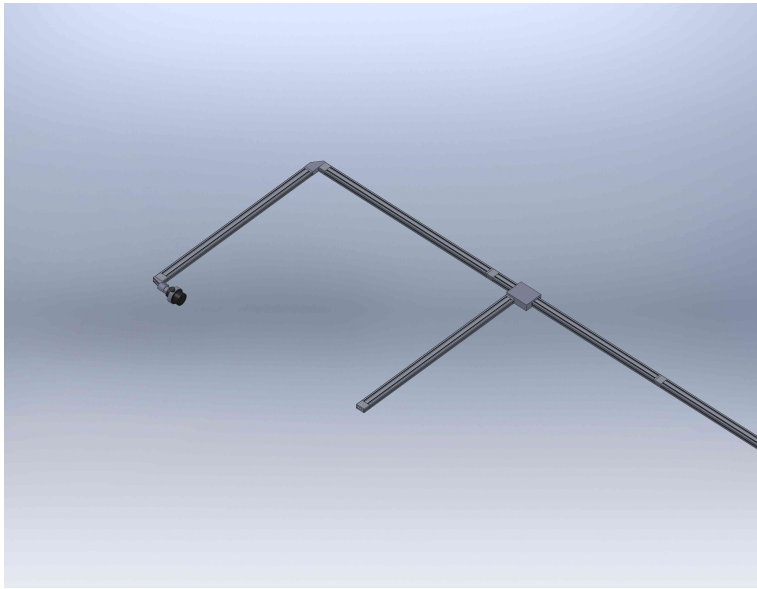
Masse volumique de la roche est de $3\,000 \text{ kg/m}^3$



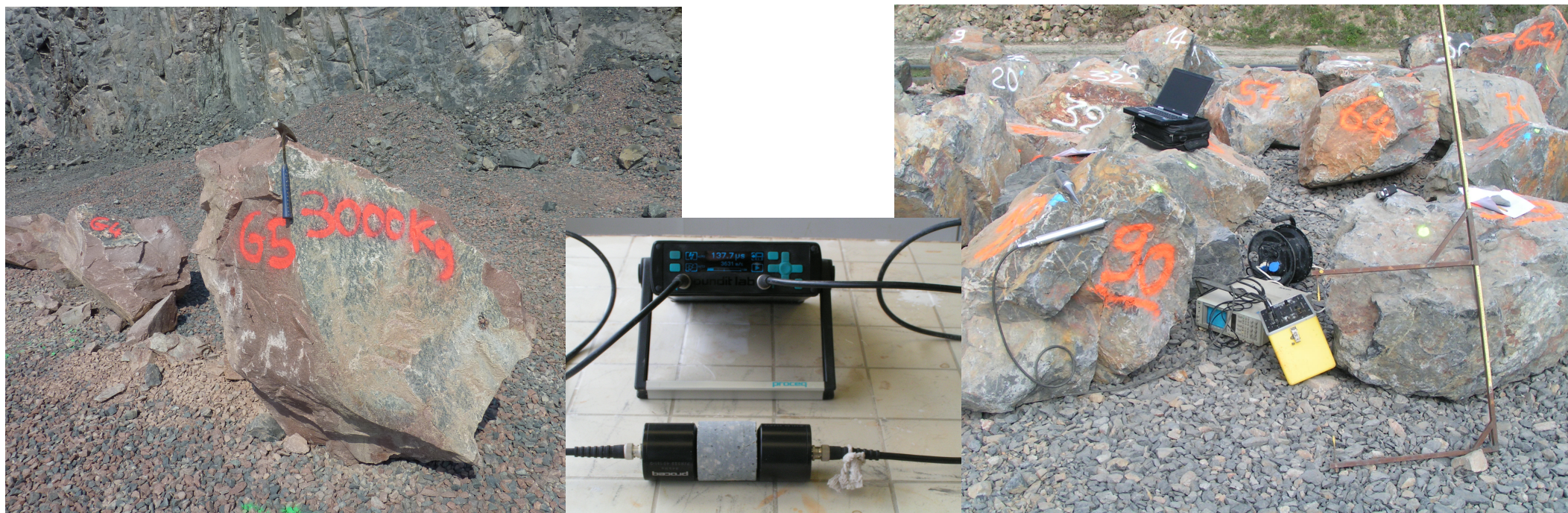
Poids calculé de l'enrochement 1 391 kg pour un poids mesuré de 1 400 kg
Possibilité de calculer une enveloppe autour du bloc (indice de forme).

- Résultats sur les deux autres blocs d'enrochement
 - Bloc 1 poids calculé = 2 380 kg / poids réel = 2 600 kg (8%),
 - Bloc 2 poids calculé = 2 600 kg / poids réel = 2 800 kg (7%).
- Avantages :
 - Temps d'acquisition d'environ 2 minutes par station soit 12 minutes pour scanner les 3 blocs d'enrochements,
 - Précision de la mesure :
 - 2 mm à une distance de 25 mètres,
 - 1,5 mm à une distance de 10 mètres,
 - Peu de manipulation / acquisition et calage automatique,
 - Rendu 3D permettant obtenir l'élancement des blocs ($L/E > 3$).
- Inconvénients
 - Météo : pluie et goutte d'eau,
 - Mesure dans l'image (positionnement dans l'espace),
 - Zone d'ombre (superposition de blocs ou emprise).

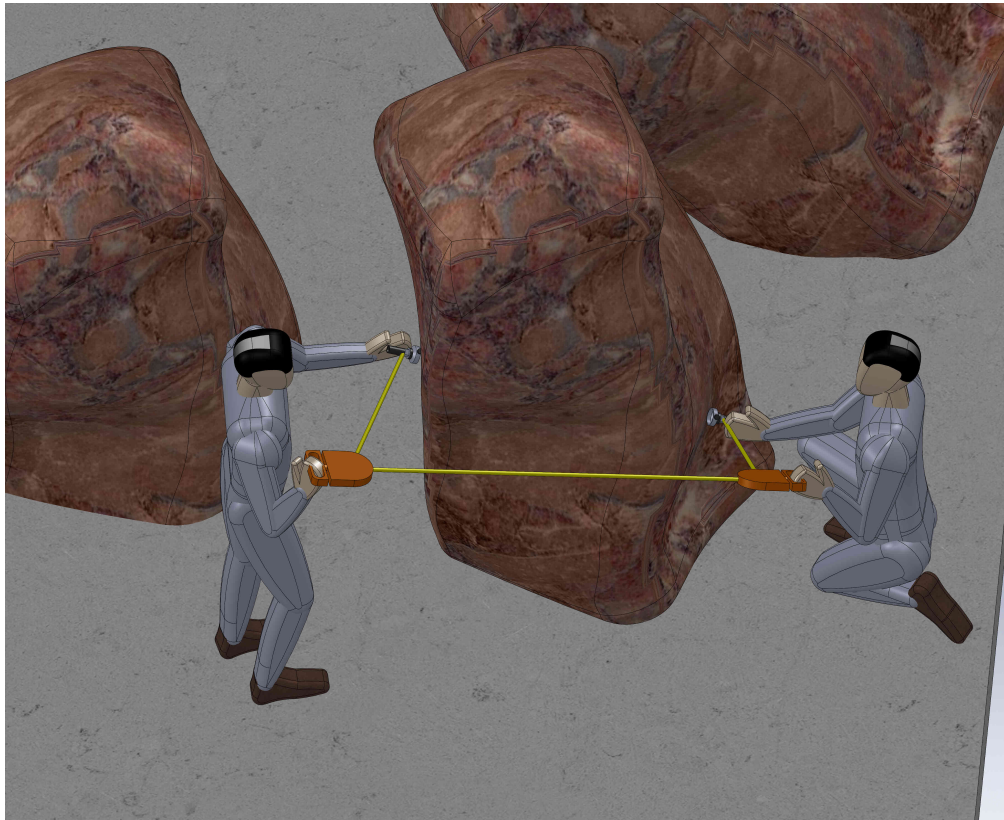
Indice de continuité : couplage des mesures de vitesse de propagation de l'onde primaire (compression) et de la distance.



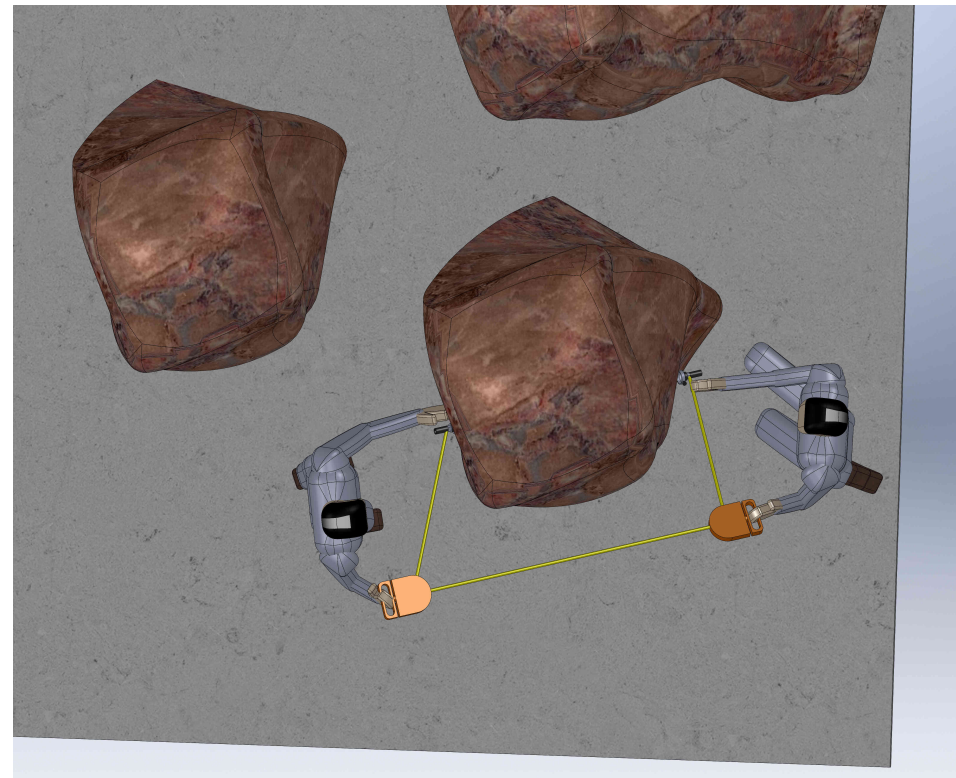
- Mesure de la distance pour l'élançement (L/E) et pour l'indice de continuité (3 directions orthogonales)
- Généralement, le programme des essais est le suivant :
 - élançement,
 - distances dans 3 directions (repérage des points),
 - mesure de la vitesse de propagation (3 directions).



- Réflexion avec le CECIP d'Angers sur une acquisition simultanée de la distance et de la vitesse de propagation



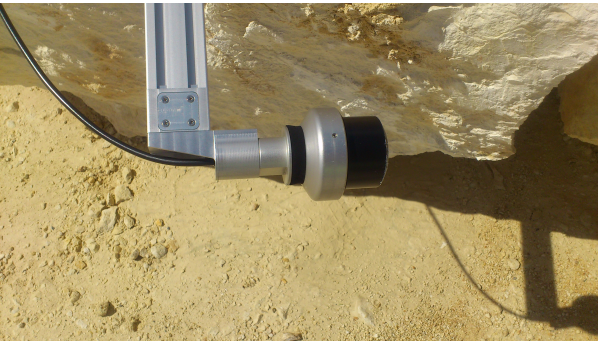
- Centrale inertielle dans poignée (angles).
- Distances contrôlées (poignée/capteur).
- Déclenchement de la mesure par traction.
- Dialogue avec un PC (sans saisie).



- Projet à plus ou moins long terme (finalité).
- Nécessité d'une étape intermédiaire.

- Développement d'un matériel simple et opérationnel

- Utilisation d'un télémètre « bluetooth ».
- Possibilité d'échanger les pointes par les capteurs soniques.
- Possibilité de rallonger le pied par rajout de pièce.



- Matériel en phase de test (robuste, maniable, répondant aux exigences de la norme enrochement...).
- Adaptations ou modifications à réaliser (rotule, chemin de câbles..).
- Dialogue avec PC en développement.

Blocométrie visuelle à l'aide d'enrochements étalons



- Différence principale entre méthode de référence et de substitution
 - Méthode de référence : pesage de l'ensemble des blocs d'enrochement,
 - Méthode de substitution : pesage global, pesage des fragments et des blocs d'enrochement proche de la limite nominale inférieure,
 - Possibilité d'utiliser un godet de chargeur (peson), un pont à bascule ou un camion pour peser l'échantillon global.



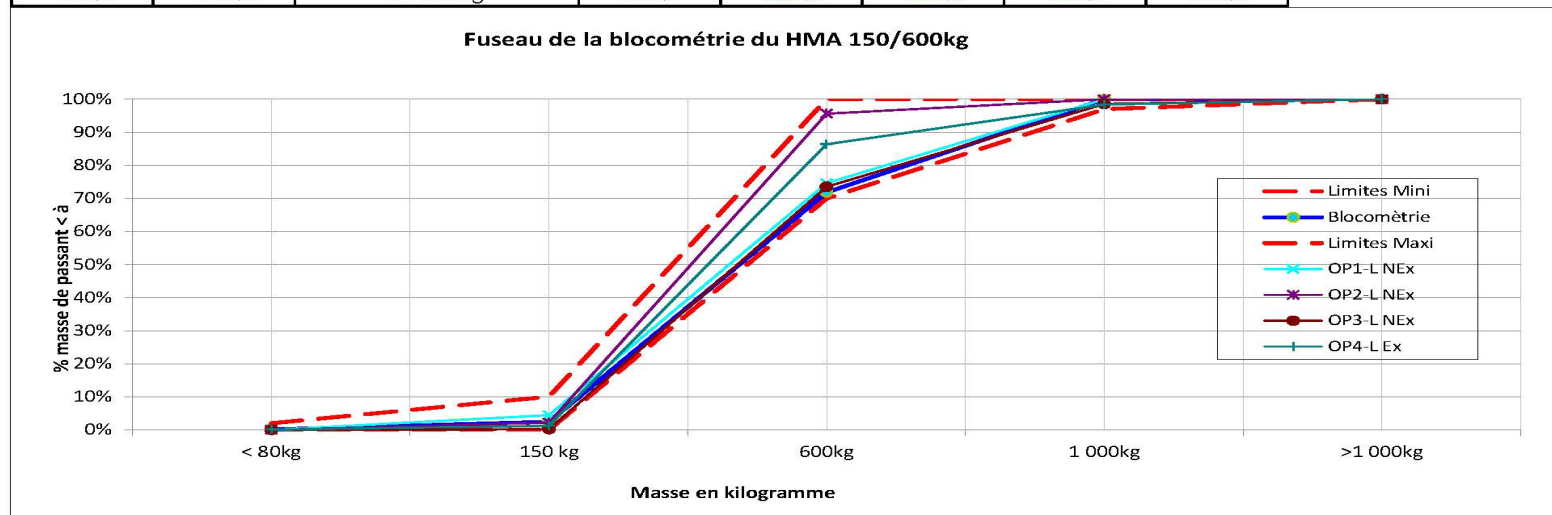
- Programme de comparaison des deux méthodes

- 4 blocométries réalisées selon la méthode de référence (150/600kg, 500kg/2T, 600kg/2T et 2/5T),
- Déclinaison de la méthode de substitution pour les 4 blocométries avec :
 - plusieurs opérateurs (exploitation, laboratoire, commerciaux),
 - blocs étalons (exemple 300kg, 600kg, 2T et 3T pour 600kg/2T),
 - marquage et comptage des blocs d'enrochements.



- Résultats de la blocométrie 150kg/600kg

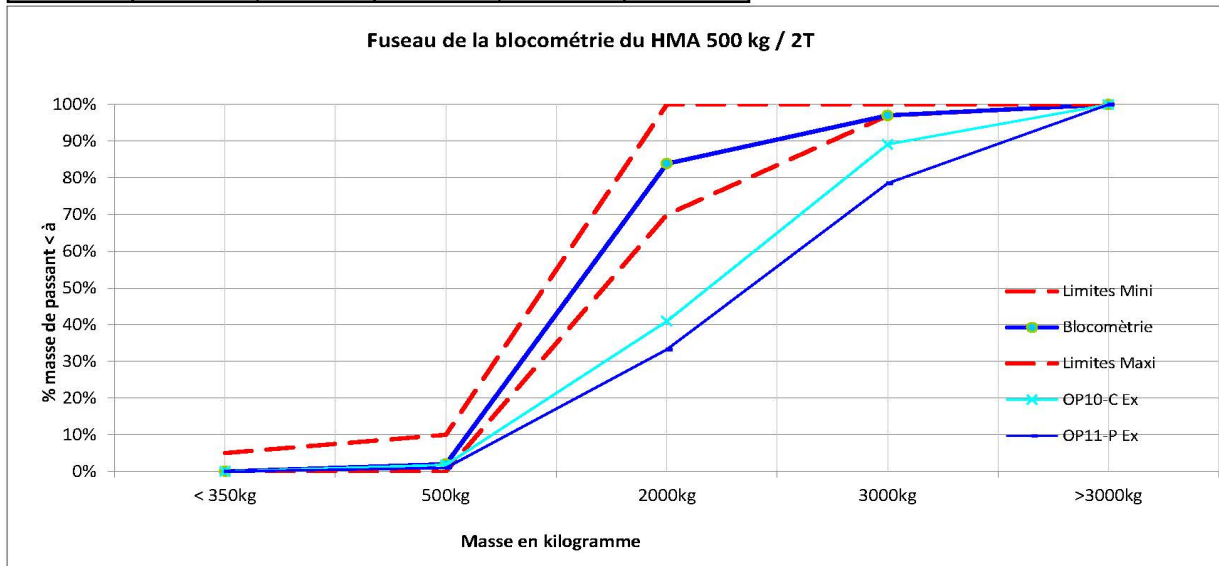
Limites maxi	Limites mini	Classe	Référence Passants cumulés	OP1-L NEx Passants cumulés	OP2-L NEx Passants cumulés	OP3-L NEx Passants cumulés	OP4-L Ex Passants cumulés
2%	0%	< 80kg	0%	0%	0%	0%	0%
10%	0%	150 kg	2%	4%	2%	0%	1%
100%	70%	600kg	72%	75%	96%	74%	86%
100%	97%	1 000kg	100%	100%	100%	99%	98%
100%	100%	>1 000kg	100%	100%	100%	100%	100%



- Résultats conformes pour les 4 opérateurs.
- Opérateurs non expérimentés ayant un profil laboratoire.

- Résultats de la blocométrie 500kg/2000kg

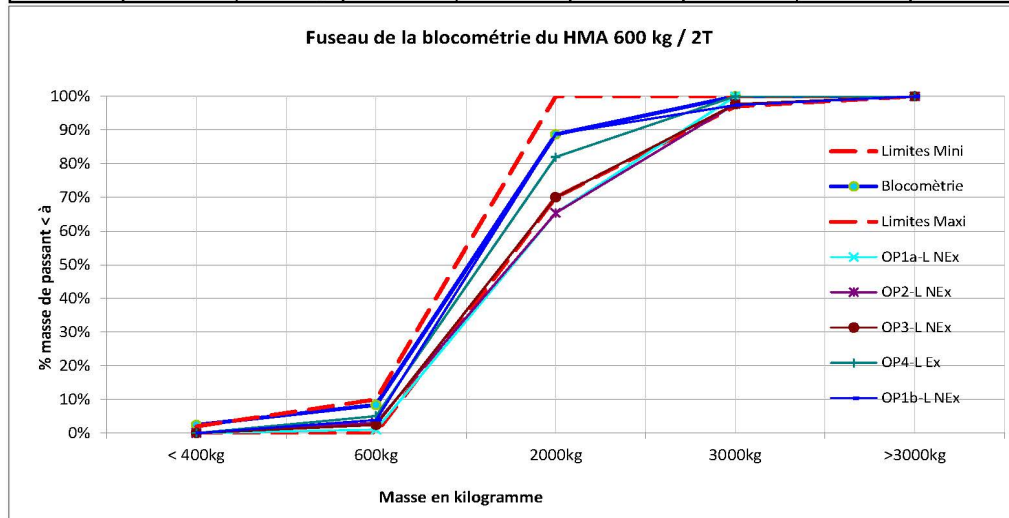
Limites maxi	Limites mini	Classe	Référence Passants cumulés	OP10-C Ex Passants cumulés	OP11-P Ex Passants cumulés
5%	0%	< 350kg	0%	0%	0%
10%	0%	500kg	2%	2%	1%
100%	70%	2000kg	84%	41%	33%
100%	97%	3000kg	97%	89%	79%
100%	100%	>3000kg	100%	100%	100%



- Résultats non conformes pour les 2 opérateurs.
- Opérateurs expérimentés ayant un profil exploitation.

- Résultats de la blocométrie 600kg/2000kg

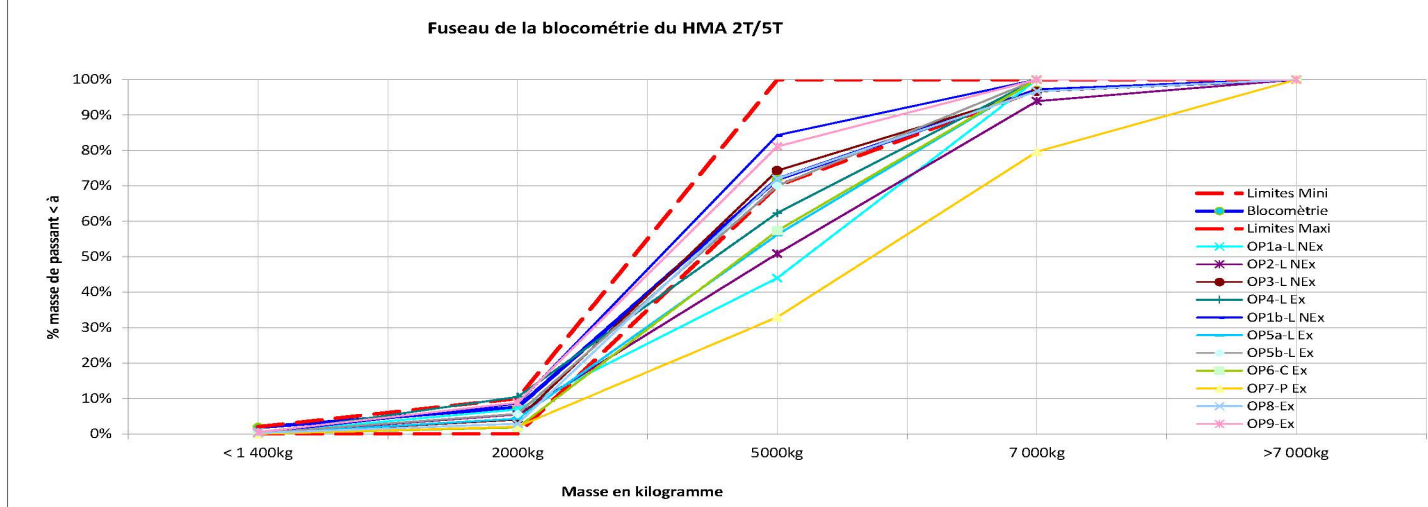
Limites maxi	Limites mini	Classe	Référence	OP1a-L NEx	OP1b-L NEx	OP2-L NEx	OP3-L NEx	OP4-L Ex
			Passants cumulés	Passants cumulés	Passants cumulés	Passants cumulés	Passants cumulés	Passants cumulés
2%	0%	< 400kg	2%	0%	0%	0%	0%	0%
10%	0%	600kg	8%	1%	4%	3%	2%	5%
100%	70%	2000kg	89%	65%	89%	65%	70%	82%
100%	97%	3000kg	100%	100%	97%	98%	98%	100%
100%	100%	>3000kg	100%	100%	100%	100%	100%	100%



- Résultats majoritairement conformes pour les 4 opérateurs.
- Opérateurs expérimentés ayant un profil laboratoire.
- L'expérience terrain est un facteur important.

- Résultats de la blocométrie 2/5T

Limites maxi	Limites mini	Classe	Référence	DP1a-L NEx	DP1b-L NEx	OP2-L NEx	OP3-L NEx	OP4-L Ex	OP5a-L Ex	OP5b-L Ex	OP6-C Ex	OP7-P Ex	OP8-Ex	OP9-Ex
			Passants cumulés	Passants cumulés	Passants cumulés	Passants cumulés	Passants cumulés	Passants cumulés	Passants cumulés	Passants cumulés	Passants cumulés	Passants cumulés	Passants cumulés	Passants cumulés
2%	0%	< 1 400kg	2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%
10%	0%	2000kg	8%	7%	9%	5%	4%	10%	4%	6%	2%	2%	3%	9%
100%	70%	5000kg	72%	44%	84%	51%	74%	62%	56%	70%	57%	33%	72%	81%
100%	97%	7 000kg	97%	100%	100%	94%	97%	100%	100%	100%	100%	80%	97%	100%
100%	100%	>7 000kg	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%



- Résultats contrastés pour les 9 opérateurs.
- Probablement limite de la méthode (taille et poids des enrochements).

- Enseignements tirés de la comparaison des deux méthodes
 - Pour des blocométries inférieures à 2T, méthode visuelle permet l'obtention de résultats conformes (si opérateurs expérimentés),
 - Pour des blocométries supérieures à 2T, méthode visuelle possible mais uniquement avec des opérateurs très expérimentés (faible proportion de résultats conformes pour l'ensemble des opérateurs 3/9),
 - Importance du choix des enrochements étalons (prendre différentes formes pour la même limite de poids : cube, parallélépipède, « sphérique »),
 - Méthode pratique et relativement simple à mettre en œuvre qui correspond bien à un suivi de production.

Conclusion

- Étude de faisabilité d'une acquisition tridimensionnelle :
 - Possibilité d'estimer les masses et l'indice de forme. La blocométrie devrait être réalisable en prenant des précautions (non empilement des enrochements...).
- Indice de continuité : couplage des mesures de vitesse de propagation de l'onde primaire (compression) et de la distance :
 - Fabrication d'un pied à coulisse avec capteur sonore et télémètre bluetooth),
 - Prototype « léger » avec centrale d'acquisition distante.
- Blocométrie visuelle : comparaison des deux méthodes :
 - Résultats positifs pour des blocométries inférieures à 2T,
 - Les blocométries supérieures à 2T nécessitent des opérateurs très expérimentés.

Conclusion

- Le CEN-CENELEC lance un appel à proposition dans le domaine de la métrologie (en appui à la normalisation) :
 - Proposition dans le cadre de la révision de la norme EN13383-1
 - Blocométrie par analyse d'image via le Scan3D et/ou la photogrammétrie (avec ou sans drone),
 - Intégrité des enrochements par CND (Contrôle Non Destructif) comme l'auscultation sonore, RADAR (onde électromagnétique).
- Discussion et possibilité de montage du dossier par le Groupe Miroir Enrochement français avant fin décembre 2015 (partenariat envisagé entre Cerema/UNPG/IFSTTAR).



Cerema

Centre d'études et d'expertise sur les risques,
l'environnement, la mobilité et l'aménagement

Merci pour votre attention

Valéry LE TURDU

Chargé d'études en Optimisation des ressources naturelles et des revêtements

DTer Ouest-DLRCAngers

valery.le-turdu@cerema.fr