

Les techniques de revêtement

Rôle, matériaux, techniques



Serge GODART, Tractebel Engineering

Journée d'étude SBGIMR – 10/03/2015
Les techniques de clouage des parois

TRACTEBEL Engineering
GDF SUEZ



Sommaire

1. Introduction
2. Role du revêtement
3. Importance des investigations
4. Revêtement en béton projeté
 - 4.1 Techniques
 - 4.2 Matériaux
 - 4.3 Mise en oeuvre
 - 4.4 Limites de la méthode
5. Revêtement par grillages plaqués



1. Introduction

- Revêtement généralement utilisé
 - Pour les parois rocheuses “naturelles”
 - Pour les parois “artificielles” (ouvrages de génie civil tels que route, chemin de fer, fouille,...) lorsque d’autres techniques ne sont pas possibles.
- Le dimensionnement du revêtement s’intègre dans une analyse globale de stabilisation de la paroi rocheuse
- Prise en compte des exigences particulières du Client



2. Rôle du revêtement

Le revêtement poursuit deux objectifs principaux:

1. Limiter l'altération et la fracturation du massif rocheux par les agents atmosphériques;
2. Empêcher les chutes de blocs ou cailloux superficiels dans un massif rocheux très fracturé



3. Importance des investigations

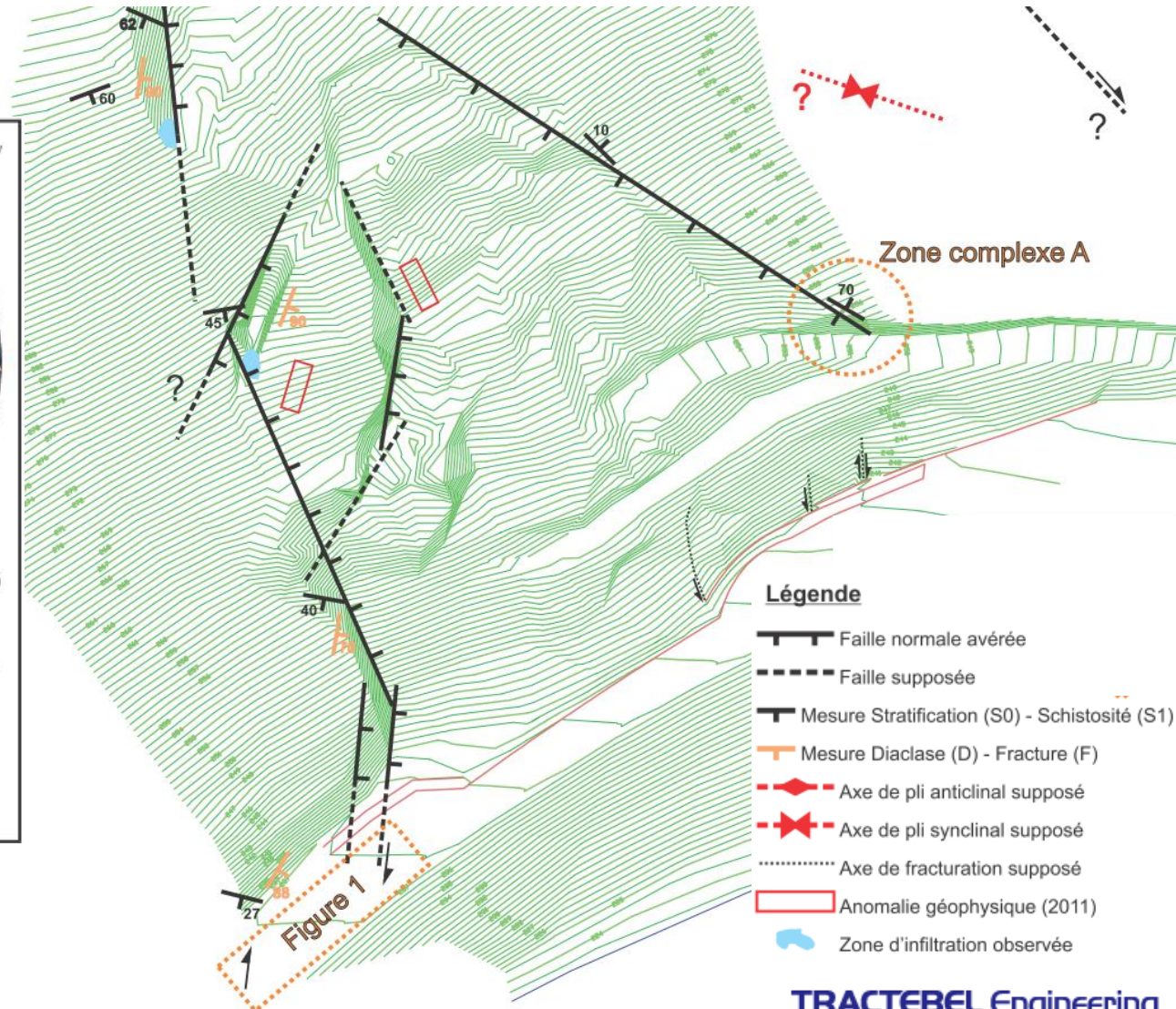
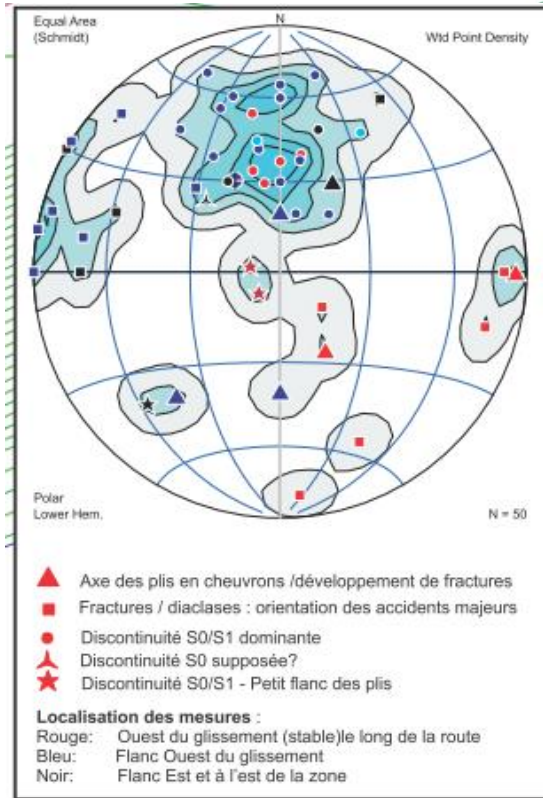
Le dimensionnement du revêtement s'intègre dans une analyse globale de la stabilité de la paroi qui comprend à minima les phases suivantes:

- Analyse du contexte géologique et plus particulièrement de la structure interne du massif;
- Analyse du contexte hydrogéologique (parfois moteur de l'instabilité);
- Analyse des aspects météorologiques (influence du climat sur l'altération et la fracturation du massif);
- Analyse du contexte local (vibration, etc...)
- Mise en perspective avec la méthode d'excavation (pour les parois artificielles)







3. Importance des investigations

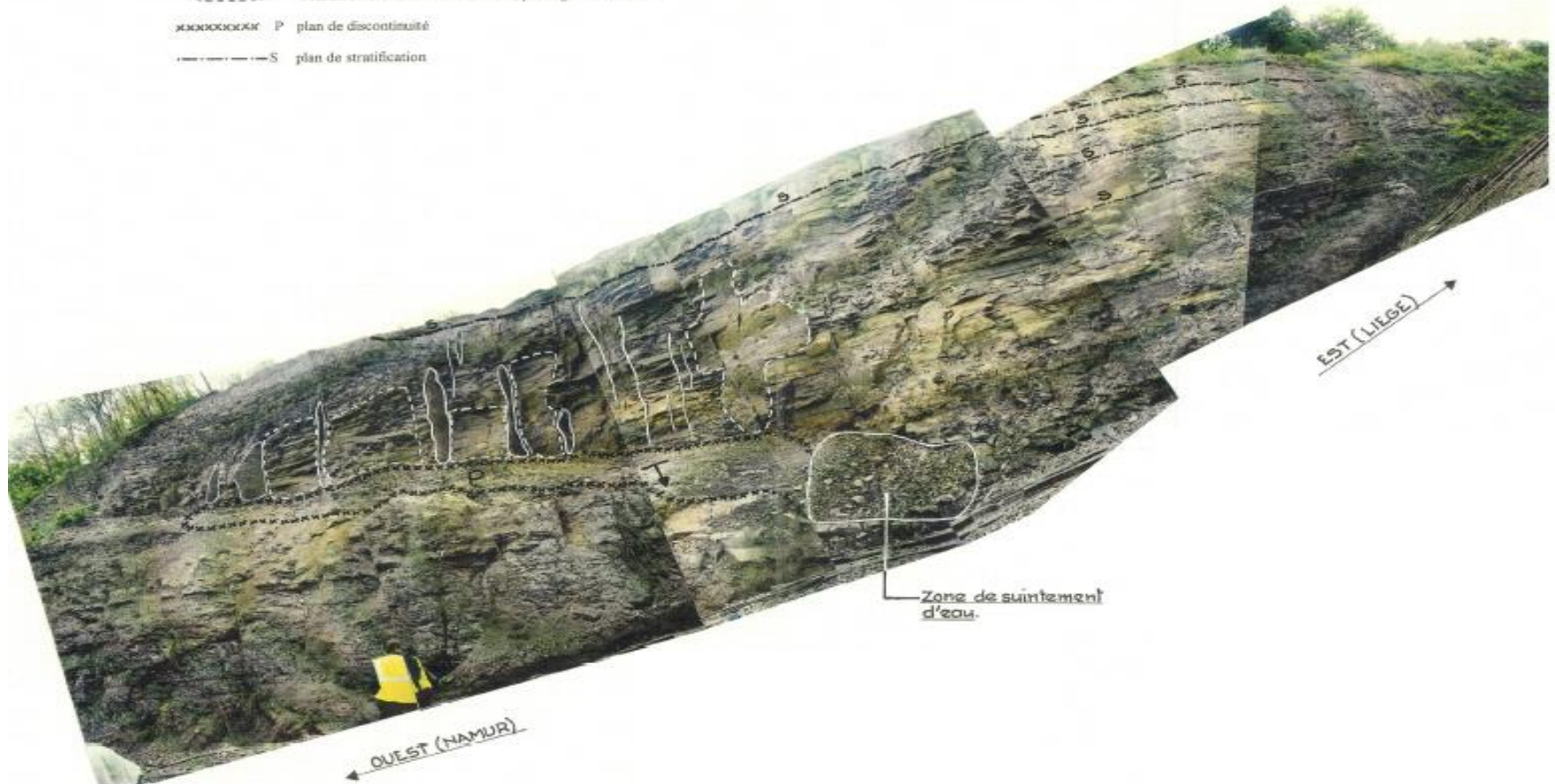
Analyse du contexte géologique régional



3. Importance des investigations

Analyse du contexte géologique local





- Légende:**
-  réseaux de diaclases D1: N 100° E, pendage: +/- 80° E
 -  réseaux de diaclases D2: N 20° E, pendage: +/- 70° W
 -  P plan de discontinuité
 -  S plan de stratification



3. Importance des investigations

Estimation des caractéristiques géomécaniques

- A partir de l'analyse visuelle du massif (GSI –RMR)

CARACTERISTIQUES DE LA MASSE ROCHEUSE POUR L'ESTIMATION DE LA RESISTANCE		CONDITIONS DE SURFACE							
A partir de l'apparence de la roche, choisir la catégorie qui donne, selon vous, la meilleure description des conditions moyennes de structure in situ. [...] Le critère de Hoek-Brown devrait uniquement être appliqué à des masses rocheuses dont la taille des blocs individuels est petite devant celle de l'excavation.		TRES BONNES Surfaces fraîches, non-altérées, très rugueuses	BONNES Surfaces couleur de fer, rugueuses et légèrement altérées	MOYENNES Surfaces lisses, altérées ou moyennement altérées	PAUVRES Surfaces aux contours lisses, fortement altérées avec enduit ou remplissage compact de fragments anguleux	TRES PAUVRES Surfaces aux contours lisses, fortement altérées avec enduit ou remplissage d'argile plastique			
STRUCTURE	QUALITÉ DÉCROISSANTE	AGENCEMENT DES BLOCS ROCHEUX DÉCROISSANT							
	FRACTURÉE – masse rocheuse non perturbée, très bien assemblée, constituée de blocs cubiques formés par trois familles de discontinuités orthogonales	80	70	60	50	40	30	20	10
	TRÈS FRACTURÉE – masse rocheuse partiellement perturbée, bien assemblée, constituée de blocs anguleux à plusieurs facettes formés par au moins quatre familles de discontinuités orthogonales								
	FRACTURÉE/DESTRUCTURÉE – blocs anguleux formés par plusieurs familles de discontinuités entrecoupées, avec plieurs et/ou failles								
	DÉSINTÉGRÉE – masse rocheuse fortement broyée, mal assemblée, avec un mélange de blocs rocheux anguleux et arrondis								

A. CLASSIFICATION PARAMETERS AND THEIR RATINGS						
Parameter		Range of values				
1	Strength of intact rock material	>10 MPa	4 - 10 MPa	2 - 4 MPa	1 - 2 MPa	For this low range - uniaxial compressive test is preferred
	Rating	15	12	7	4	
2	Drill core Quality RQD	90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	< 25%
	Rating	20	17	13	8	3
3	Spacing of discontinuities	> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm
	Rating	20	15	10	8	5
4	Condition of discontinuities (See E)	Very rough surfaces Not continuous No separation Unweathered wall rock	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Slightly weathered walls	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Highly weathered walls	Slickensided surfaces or Gouge < 5 mm thick or Separation 1-5 mm Continuous	Soft gouge >5 mm thick or Separation > 5 mm Continuous
	Rating	30	25	20	10	0
5	Ground water (Joint water press/ (Major principal σ)	None	< 10	10 - 25	25 - 125	> 125
	Rating	15	10	7	4	0
B. RATING ADJUSTMENT FOR DISCONTINUITY ORIENTATIONS (See F)						
Strike and dip orientations		Very favourable	Favourable	Fair	Unfavourable	Very Unfavourable
Ratings	Tunnels & mines	0	-2	-5	-10	-12
	Foundations	0	-2	-7	-15	-25
	Slopes	0	-5	-25	-50	
C. ROCK MASS CLASSES DETERMINED FROM TOTAL RATINGS						
Rating	100 ← 81	80 ← 61	60 ← 41	40 ← 21	< 21	
Class number	I	II	III	IV	V	
Description	Very good rock	Good rock	Fair rock	Poor rock	Very poor rock	
D. MEANING OF ROCK CLASSES						
Class number	I	II	III	IV	V	
Average stand-up time	20 yrs for 15 m span	1 year for 10 m span	1 week for 5 m span	10 hrs for 2.5 m span	30 min for 1 m span	
Cohesion of rock mass (kPa)	> 400	300 - 400	200 - 300	100 - 200	< 100	
Friction angle of rock mass (deg)	> 45	35 - 45	25 - 35	15 - 25	< 15	
E. GUIDELINES FOR CLASSIFICATION OF DISCONTINUITY conditions						
Discontinuity length (persistence)	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m	
Rating	6	4	2	1	0	
Separation (aperture)	None	< 0.1 mm	0.1 - 1.0 mm	1 - 5 mm	> 5 mm	
Rating	6	5	4	3	0	
Roughness	Very rough	Rough	Slightly rough	Smooth	Slickensided	
Rating	6	5	3	2	0	
Infilling (gouge)	None	Hard filling < 5 mm	Hard filling > 5 mm	Soft filling < 5 mm	Soft filling > 5 mm	
Rating	6	4	2	2	0	
Weathering	Unweathered	Slightly weathered	Moderately weathered	Highly weathered	Decomposed	
Rating	6	5	3	1	0	
F. EFFECT OF DISCONTINUITY STRIKE AND DIP ORIENTATION IN TUNNELLING**						
Strike perpendicular to tunnel axis			Strike parallel to tunnel axis			
Drive with dip - Dip 45 - 90°		Drive with dip - Dip 20 - 45°		Dip 45 - 90°		
Very favourable		Favourable		Very unfavourable		
Drive against dip - Dip 45-90°		Drive against dip - Dip 20-45°		Dip 0-20 - Irrespective of strike*		
Fair		Unfavourable		Fair		

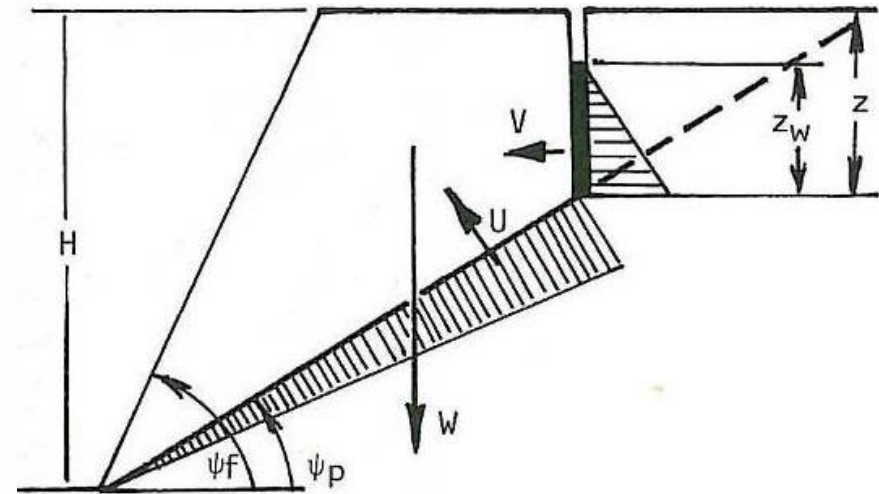
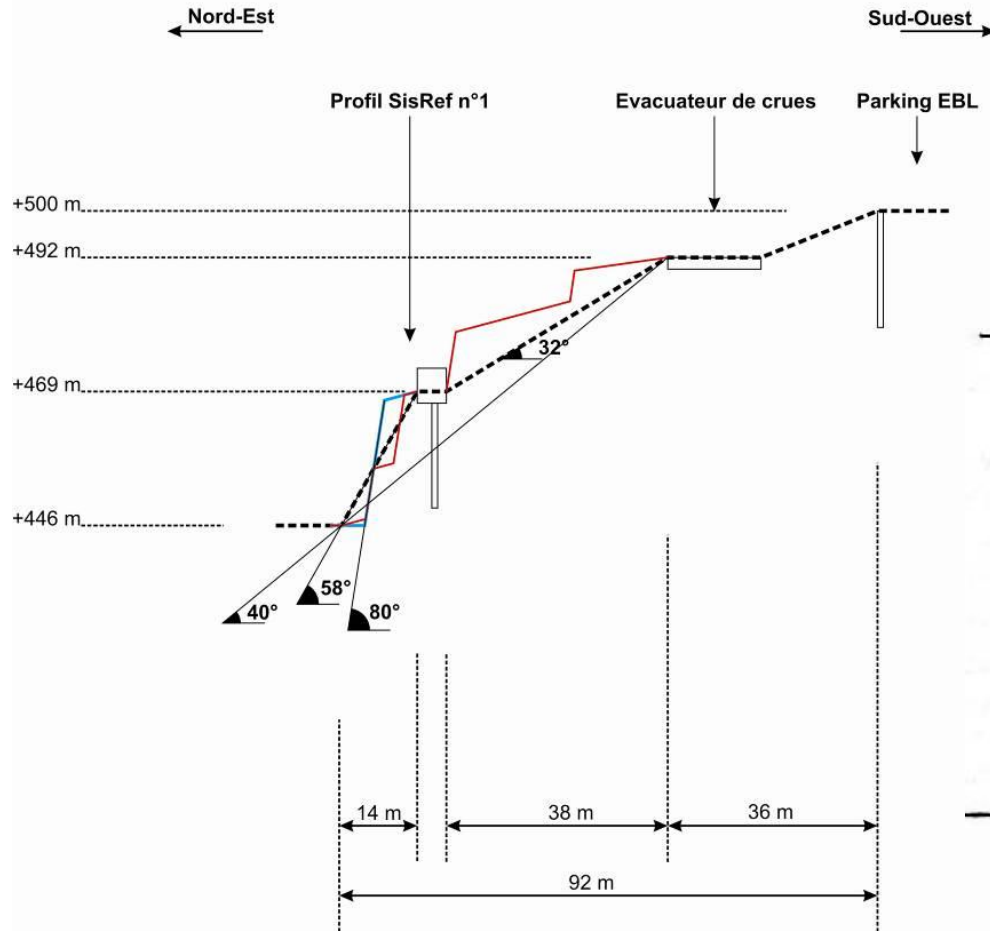
* Some conditions are mutually exclusive . For example, if infilling is present, the roughness of the surface will be overshadowed by the influence of the gouge. In such cases use A.4 directly.
 ** Modified after Wickham et al (1972).



3. Importance des investigations

Analyse du contexte hydrogéologique

- Profil alternatif sud
- Profil alternatif nord



3. Importance des investigations

Analyse du contexte hydrogéologique

Détermination du profil d'équilibre hydrogéologique

- Mise en place de forages piézométriques en tête et en pied de l'instabilité
- Définition précise (en X, Y et Z) des résurgences
- Identification des axes perméables (en relation directe avec la fracturation)

Définition de la zone d'infiltration en tête de glissement :

- Elimination du moteur du glissement
- Etanchéification pour éviter les infiltrations

Pression d'eau, réserve, cheminement !!



3. Importance des investigations

Analyse des aspects météorologiques

Le climat a un impact non négligeable sur l'altérabilité et la fragmentation de la paroi.



4. Revêtement en béton projeté

Technique

La technique de revêtement du béton projeté consiste en trois phases distinctes:

- Malaxage et homogénéisation des matériaux à l'état sec ou à l'état humide
- Transport par canalisation, rigides ou souples, grâce à des pompes mécaniques ou à de l'air comprimé
- Projection du matériau, grâce à de l'air comprimé, sur les supports à revêtir.

Deux techniques sont généralement utilisées:

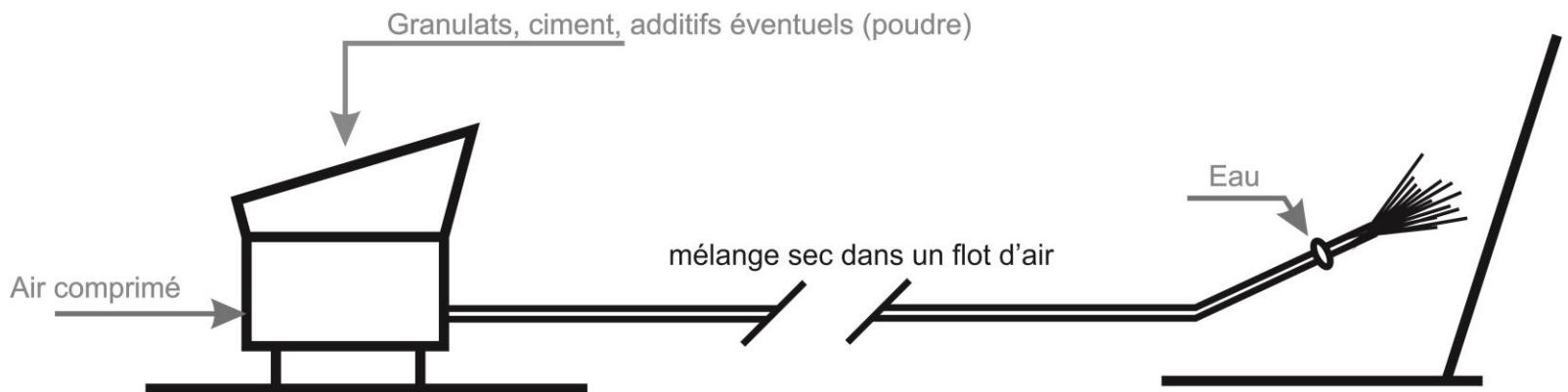
- Projection par voie sèche
- Projection par voie humide



4. Revêtement en béton projeté

Projection par voie seche

- Le mélange sec doit avoir une consistance pulvérulente pour permettre le transfert jusqu'au support (au moyen d'air comprimé)
- La consistance du béton est ferme sans additifs grâce au compactage lié à la vitesse de projection



4. Revêtement en béton projeté

Projection par voie humide

4 critères importants:

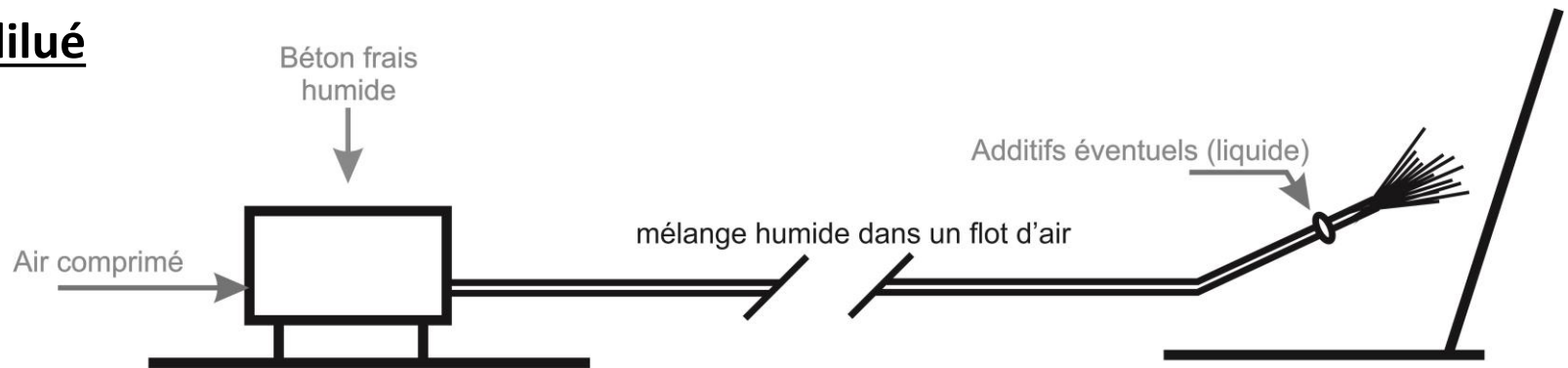
- La pompabilité du mélange influencée par
 - La composition du mélange
 - Le transport
 - Environnement de chantier
- La projectabilité du béton
- Le collage du béton sur le support influencé par
 - Les caractéristiques de la projection
 - Les contraintes du chantier
 - L'expérience des ouvriers
- L'obtention des caractéristiques mécaniques à court terme et long terme.



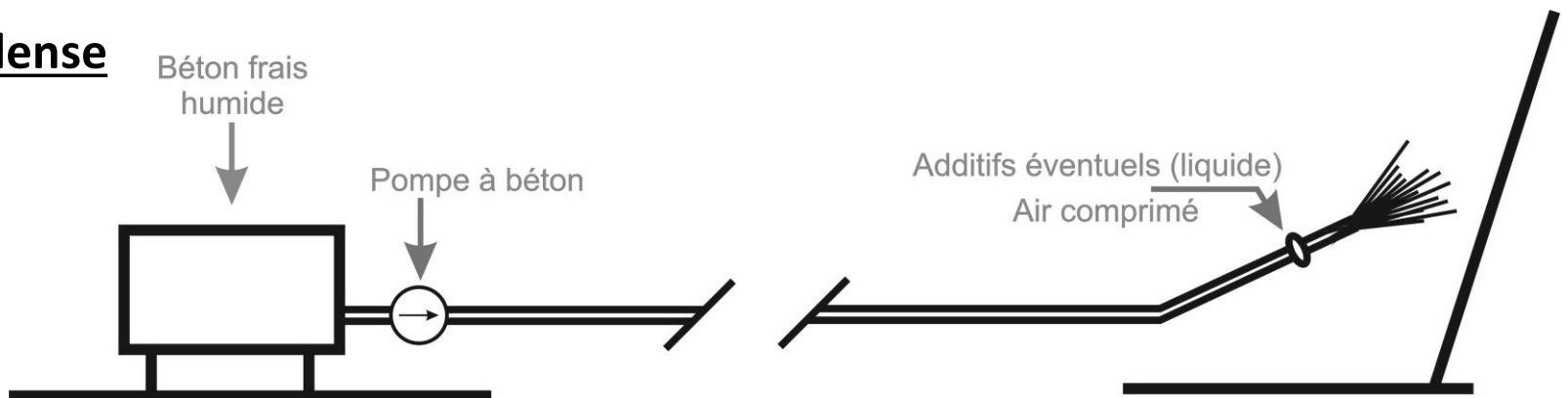
4. Revêtement en béton projeté

Projection par voie humide

Flux dilué



Flux dense



4.2 Matériaux du revêtement

Le béton projeté est constitué de:

- **Granulats**
 - Gravillons (> à 5mm et max 20 mm)
 - Sable (< à 5 mm; NF P 95-102)
 - Rapport S/G très important !!!
 - $D < 80 \mu\text{m} = 17 - 23 \%$ (NF P 95-102)
- **Ciment** (minimum 17% ou 300 kg/m^3)
- **Eau** (conforme à la norme NF EN 1008)

Mélange granulaire de diamètre maximum égal à	S*/G	
	Valeur inférieure du rapport	Valeur supérieure du rapport
8 mm	3,54	7,33
10 mm	3	6,6
12,5 mm	1,85	4,26
16 mm	1,22	2,22
20 mm	1	1,9

Et éventuellement:

- **Adjuvants** (raidisseurs, accélérateurs de durcissement)
- **Fibres** (métalliques, organiques ou minérales)

**Etude de formulation
préalable !!!**

Composition	Kg/m ³	%
Ciment	420	18.6
Micro-silice	42	1.9
Mélange d'agrégats	1.735	76.9
Fibres	59	2.6

Mélange de béton projeté (Hoek & Wood, 1988)



4.3 Mise en oeuvre

L'application du béton projeté est réalisé soit:

- **Par projection sur un treillis soudés**
- **Par adjonction de fibres dans la composition**



4.3 Mise en oeuvre



4.4 Limites de la méthode

La durée du béton projeté est variable selon la qualité de la mise en œuvre.

- **Dégradations dues aux agents atmosphériques (écaillage, décollement, gonflement sous l'action des pressions hydrauliques)**
- **Tous les problèmes liés à une mise en œuvre non optimale.**



5. Grillages plaqués

Dans ce cas, la stabilité superficielle ou locale est assurée par le grillage qui est maintenu au rocher par des boulons scellés au rocher.

- Alternative pour les zones à fort impact environnemental (NATURA 2000)
- vise à enrayer rapidement tout mouvement consécutif à une rupture (max 1 m³)

Le grillage plaqué assure le maintien superficiel de la paroi fracturée mais n'assure pas une protection contre les agents atmosphériques



5. Grillages plaqués



5. Grillages plaqués



5. Grillages plaqués



5. Grillages plaqués





MERCI DE VOTRE ATTENTION

