



Faculté Polytechnique



Approches d'aide à la gestion des carrières

Journée sur quelques approches d'étude sur les carrières

Tournai le 11 mai 2012

- Description et qualification des massifs
- Evaluation de la ressource
- Conception et planification des exploitations

Description et qualification des massifs

Objectifs et approches

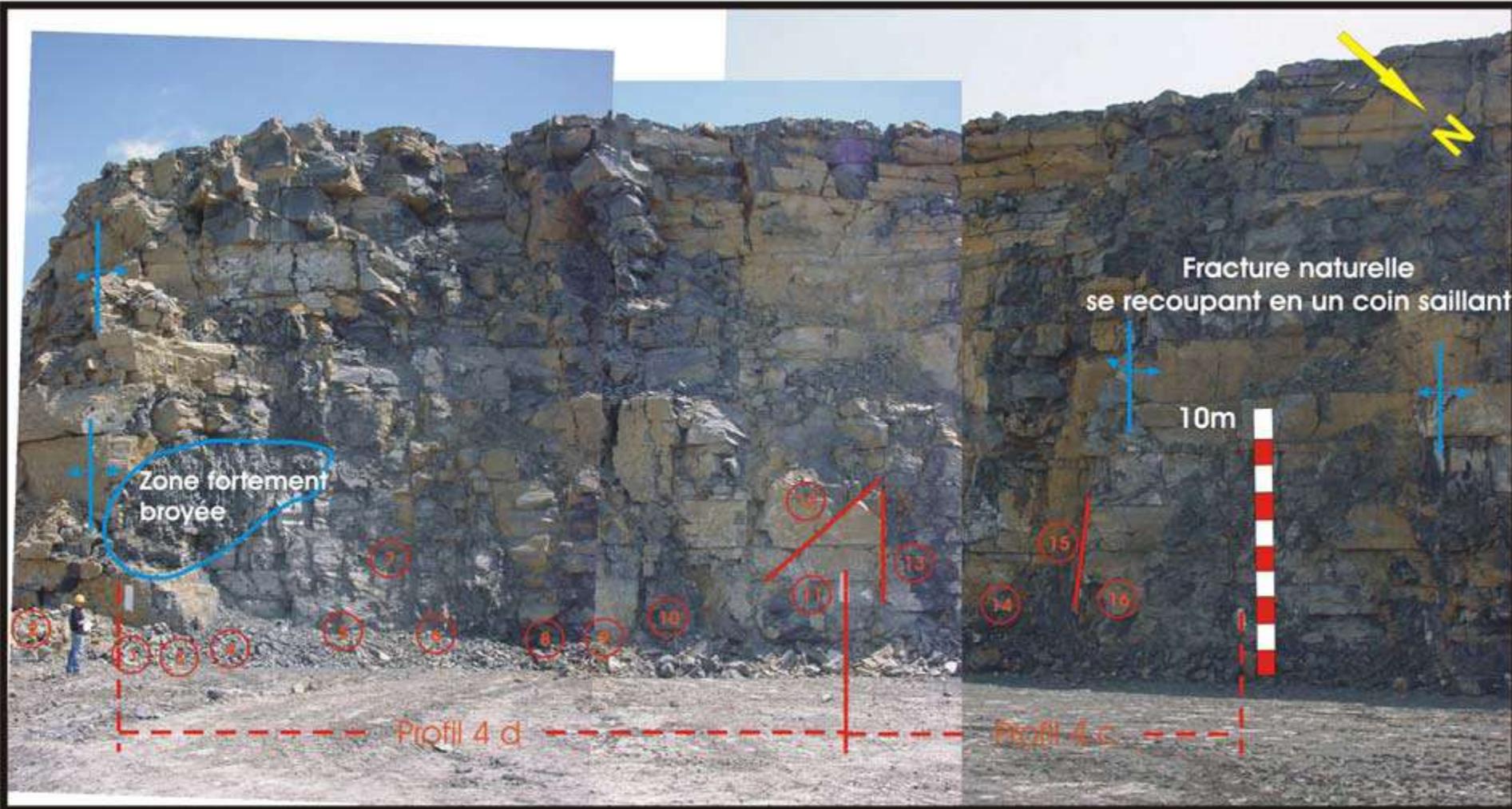
Objectifs:

- Déterminer l'état mécanique du massif et décider si production utilisable comme granulats. Sinon envoyer au backfilling
- Améliorer la qualité des tirs

Deux approches pour caractériser les massifs:

- GSI: Indice géologique de résistance
- Energie spécifique via les diagraphies

Indice géologique de résistance (GSI)



Indice géologique de résistance (GSI)

Définition

- Créé afin de déterminer les paramètres utilisés par le critère de résistance des massifs rocheux élaboré par Hoek et Brown (1997)
 - Permet de caractériser des masses rocheuses en donnant une estimation de leur résistance sur base :
 - du niveau de fracturation
 - du niveau d'altération
- Correspond aux caractéristiques du gisement étudié

Levé et description des parois

Mesures faites aux étages 1,2 et 3

Consiste à:

- Identification d'un point de référence au GPS
- Levé systématique des profils par un cheminement avec un décamètre et une boussole de géologue
- Dessin à main levée des structures observées
- Prise d'images numériques de la paroi levée

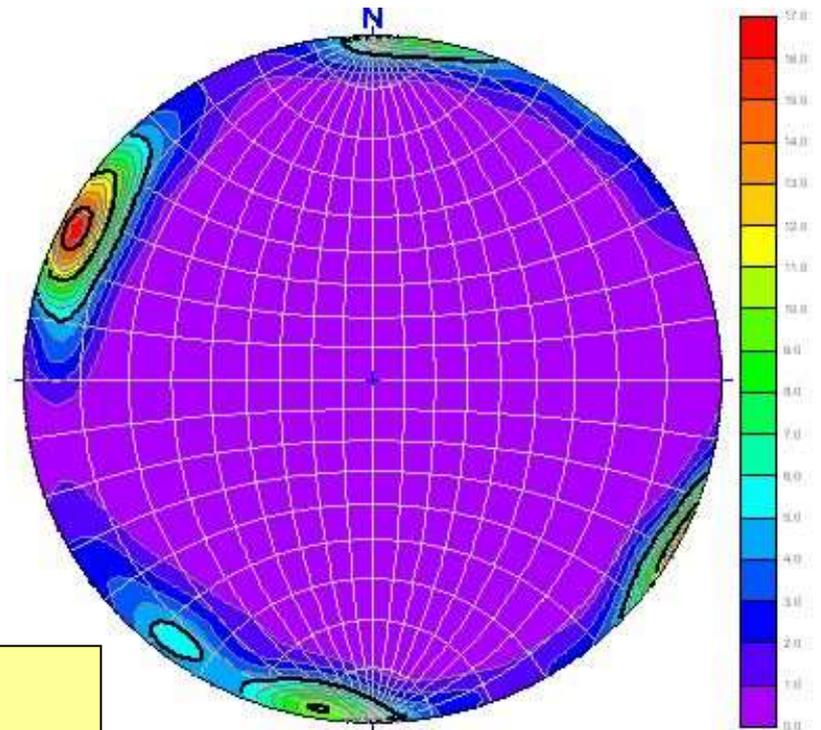
Traitement des données

1. Rédaction des tableaux de synthèse des mesures profil par profil avec les observations

Date :	15/06/2004			Levé du point	X=	532915		
Localisation Générale:	Etage 1-2				Y=	5603784		
Objectif:	Description profils 4DCBA et début profil 3							
Photos globales des profils:	Profil 4							
	Profil 3 fgh							
	N° Discontinuité	X	Y	Distance (m)	Photo	Pendage	Orientation pendage	Commentaire descriptif
Profil 4D (vers CBA)					1			
from 0 to 19m					2			limite zone 4D
	1	532942	5603783	0		82	N116E	Mesure effectuée au trait blanc sur bloc sain
	2			-3		88	N148E	
	3			2		80	N128E	
						86	N12E	Conjuguées
					3			Discontinuité 3
					4			Discontinuité 4
	4			5		85	N116E	Joint de calcite, humidité, traces argileuses
						86	N12E	Conjuguées
zone perturbée	5			7.5	5	85	N234E	
	6			8		50	N70E	
	7			7.7		87	N132E	
						84	N15E	Conjuguées
								zone fortement perturbée, grande densité de fissuration (schistosité), écrasement, patine rousse sur blocs "sains" en dehors de cette zone broyée
Schéma N°1, cahier								Fin zone broyée à 13,30
	8			13.3		88	N118E	
						85	N238E	Conjuguées

2. Un réseau de discontinuité sub-verticale

Diagramme polaire synthétisant les mesures de fracturation à aux étages 1 à 3 du gisement Est



S1: N30°E

S2: N100° -
120°E

S3: Stratigraphie

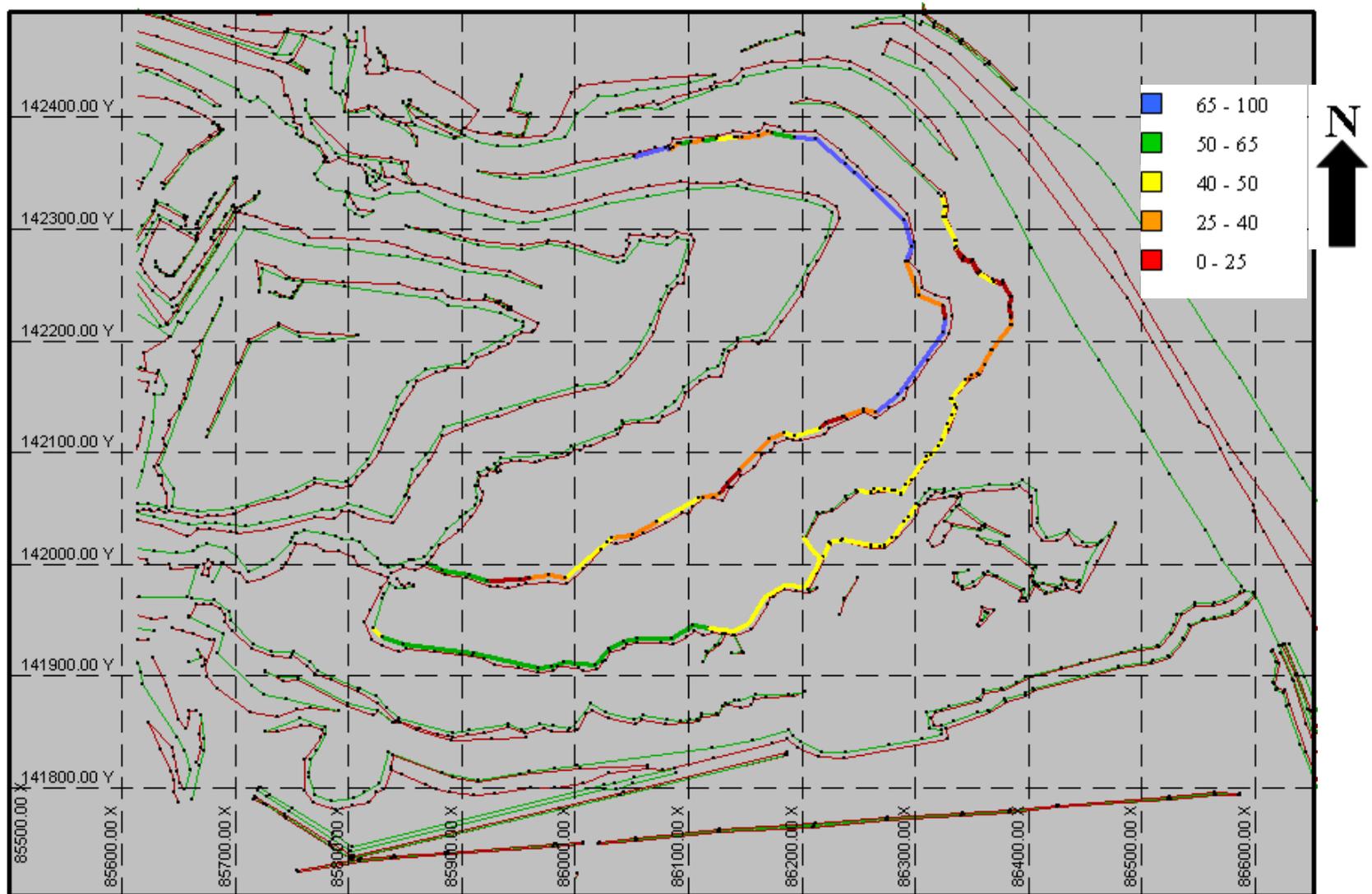


Pendage > 80°

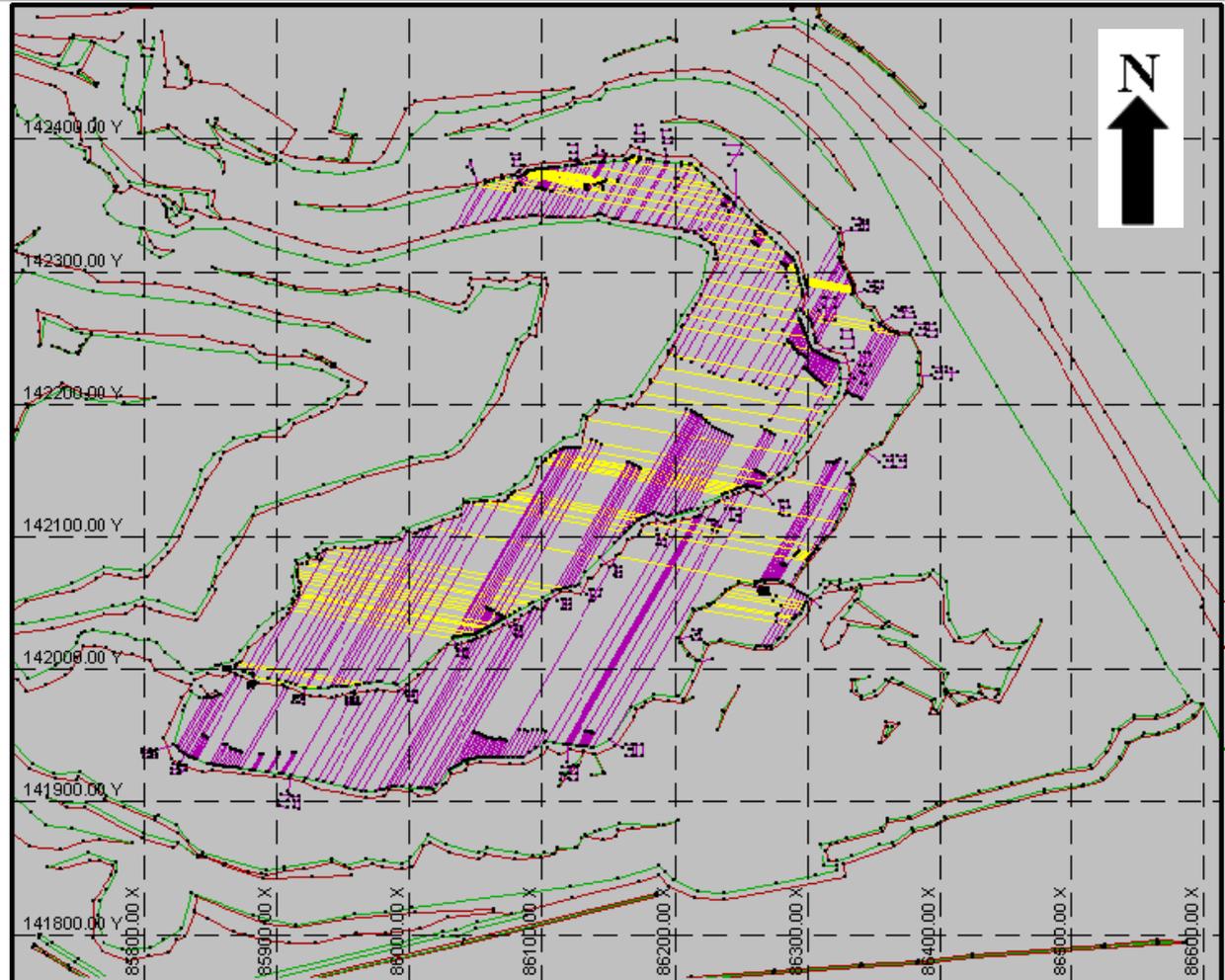
(GSI : Définition)

<p>INDICE GEOLOGIQUE DE RESISTANCE : GSI</p> <p>A partir des <u>codes-lettres</u> décrivant la structure et les conditions de surface de la masse rocheuse (tableau 10.17 précédent), prendre la case appropriée dans ce tableau. Estimer la valeur moyenne de l'Indice Géologique de Résistance (GSI) à partir des contours. Ne pas essayer d'être très précis. En effet, définir un intervalle de GSI allant de 36 à 42 est plus réaliste que de donner une valeur GSI = 38.</p>	<p>CONDITIONS DE SURFACE</p>	<p>TRES BON - Très rugueux, surfaces fraîches non altérées</p>	<p>BON - Rugueux, légèrement altéré, surfaces présentant une coloration ferrugineuse</p>	<p>ASSEZ BON - Surfaces lisses, modérément altérées</p>	<p>PAUVRE - Surfaces luisantes, fortement altérées avec revêtement compact ou remplissage par</p>	<p>TRES PAUVRE - Surfaces luisantes, fortement altérées avec recouvrement ou remplissage argileux tendre</p>
<p>STRUCTURE</p>		<p>QUALITE DE SURFACE DECROISSANTE</p>				
<p>BLOCAILLEUX – masse rocheuse non perturbée, très bien <u>inter-bloquée</u> consistant en des blocs cubiques formés par 3 familles de discontinuités orthogonales</p>	<p>BLOCAJE DECROISSANT DES PIECES DE ROCHE</p>					
<p>TRES BLOCAILLEUX- masse rocheuse <u>inter-bloquée</u>, partiellement perturbée avec des blocs anguleux <u>multi-facettes</u> formés par 4 familles de discontinuités ou plus</p>						
<p>BLOCAILLEUX/PERTURBE – plissé et/ou faillé avec des blocs angulaires formés par beaucoup de familles de discontinuités qui se recourent</p>						
<p>DESINTEGRE – pauvrement <u>interbloqué</u>, fortement cassé avec mélange de pièces angulaires et arrondies</p>						

Cartographie du GSI



Estimation de la fracturation du massif

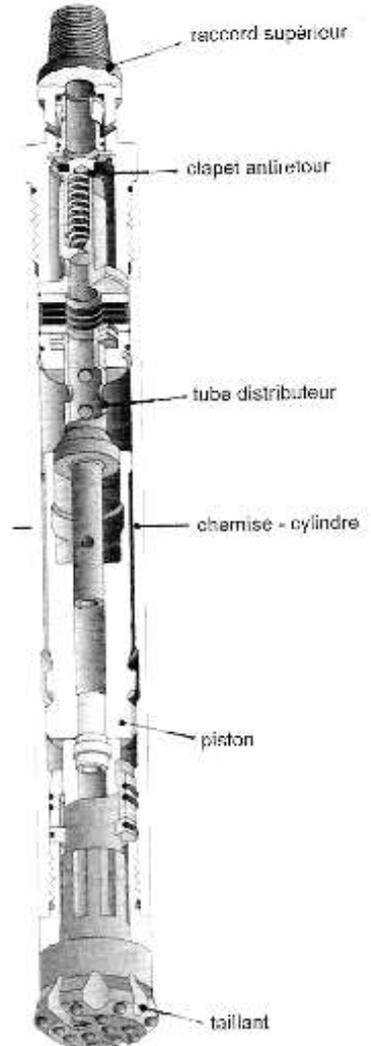
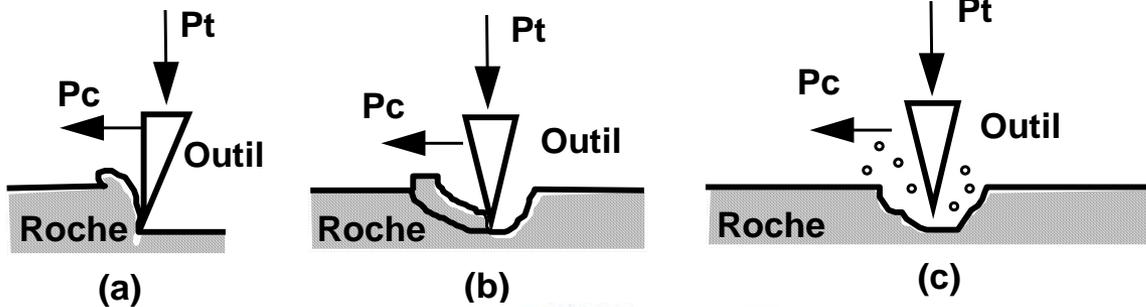


N30°E

N100°E

L'approche énergétique

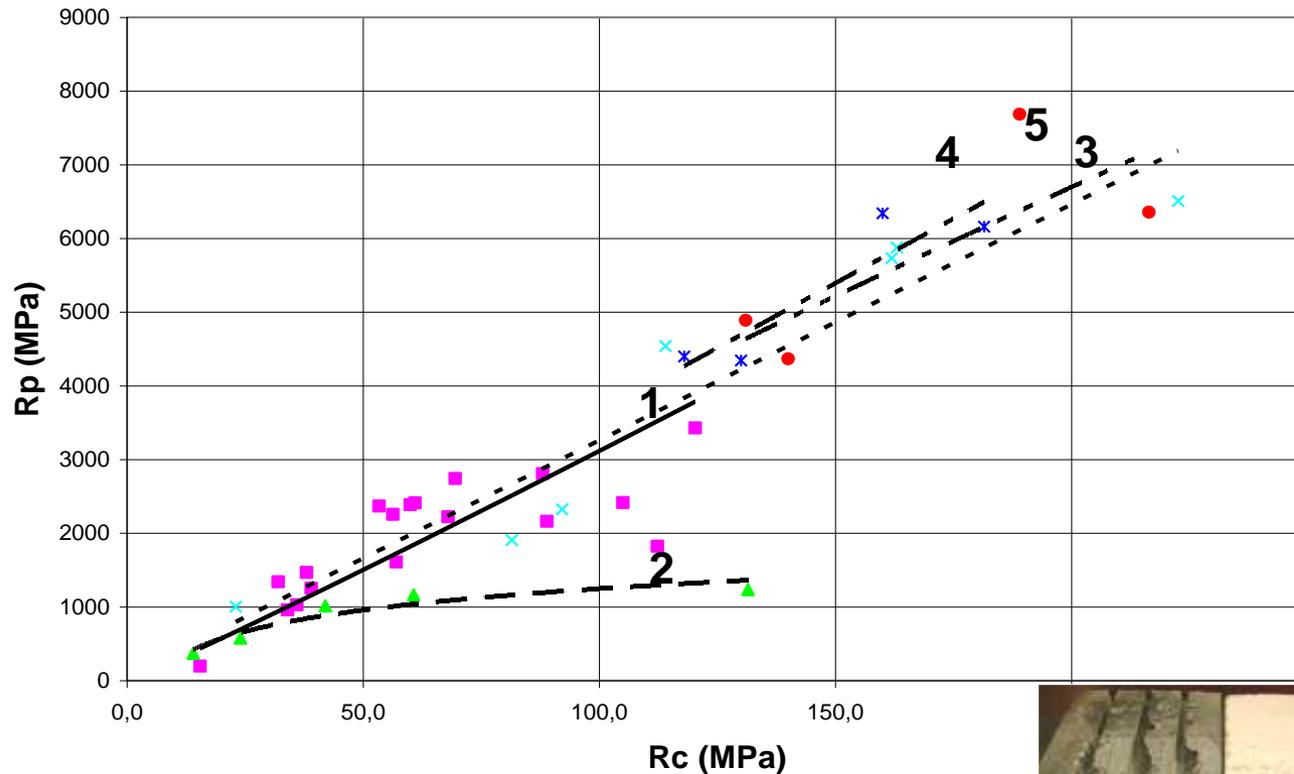
Compréhension des mécanismes de destruction de la roche lors du processus de forage



Analyse fonctionnelle du marteau fond de trou: mécanisme de percussion utilisant le poinçonnement dynamique ou frappe

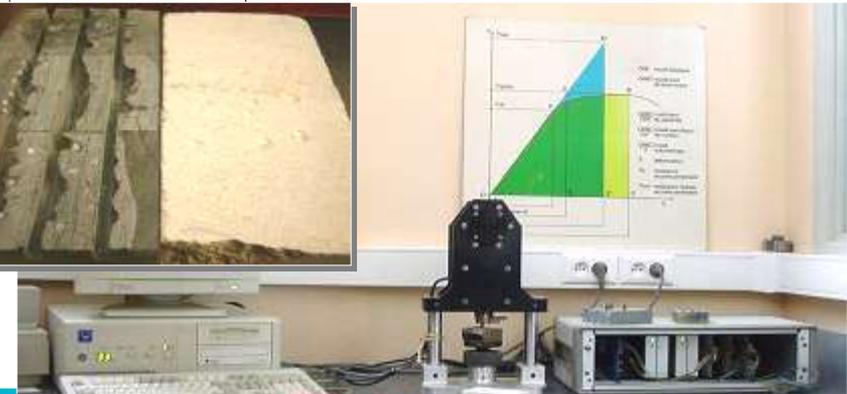


Energie spécifique et résistance de la roche



Corrélation entre la résistance au poinçonnage et la résistance en compression simple

■ 1 Calcaires $R^2=0.7331$ ▲ 2 Schistes $R^2=0.9017$ × 3 Grès $R^2=0.9032$ × 4 Granite ● 5



Evaluation de l'énergie spécifique E ou E'

Energie spécifique en roto-percussion:

$$e = E/V = P/A.Va \quad \text{en} \quad [\text{kWh}/\text{m}^3]$$

avec e = énergie spécifique

E = somme des énergies de percussion et de rotation

V = le volume de roche détruit

P = somme des puissances de percussion et de rotation

a = la surface du trou

▪ **Puissance en rotation:**

La puissance en rotation est fonction du couple N

⇒ on négligera la puissance en rotation

▪ **Puissance en percussion:**

$P = B.E = c.W.L^2.B^3$ avec

c = constante, W = poids du piston,

L = course du piston, B = la fréquence de battement

Problème: B inconnue mais directement proportionnelle à Po

⇒ **$P = c.W.L^2.(b.Po)^3$** avec *b = facteur de proportionnalité*

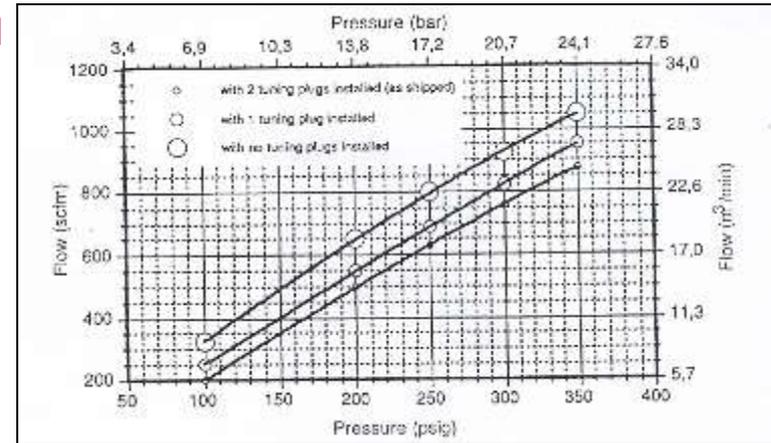
W, L et b sont constants

⇒ **P est proportionnel à Po^3**

Obtention du coefficient E' :

$e = P/A.Va$ est proportionnel à Po^3/Va car A constant dans notre cas

C'est pourquoi nous avons d'abord travaillé avec **$E' = Po^3/Va$**

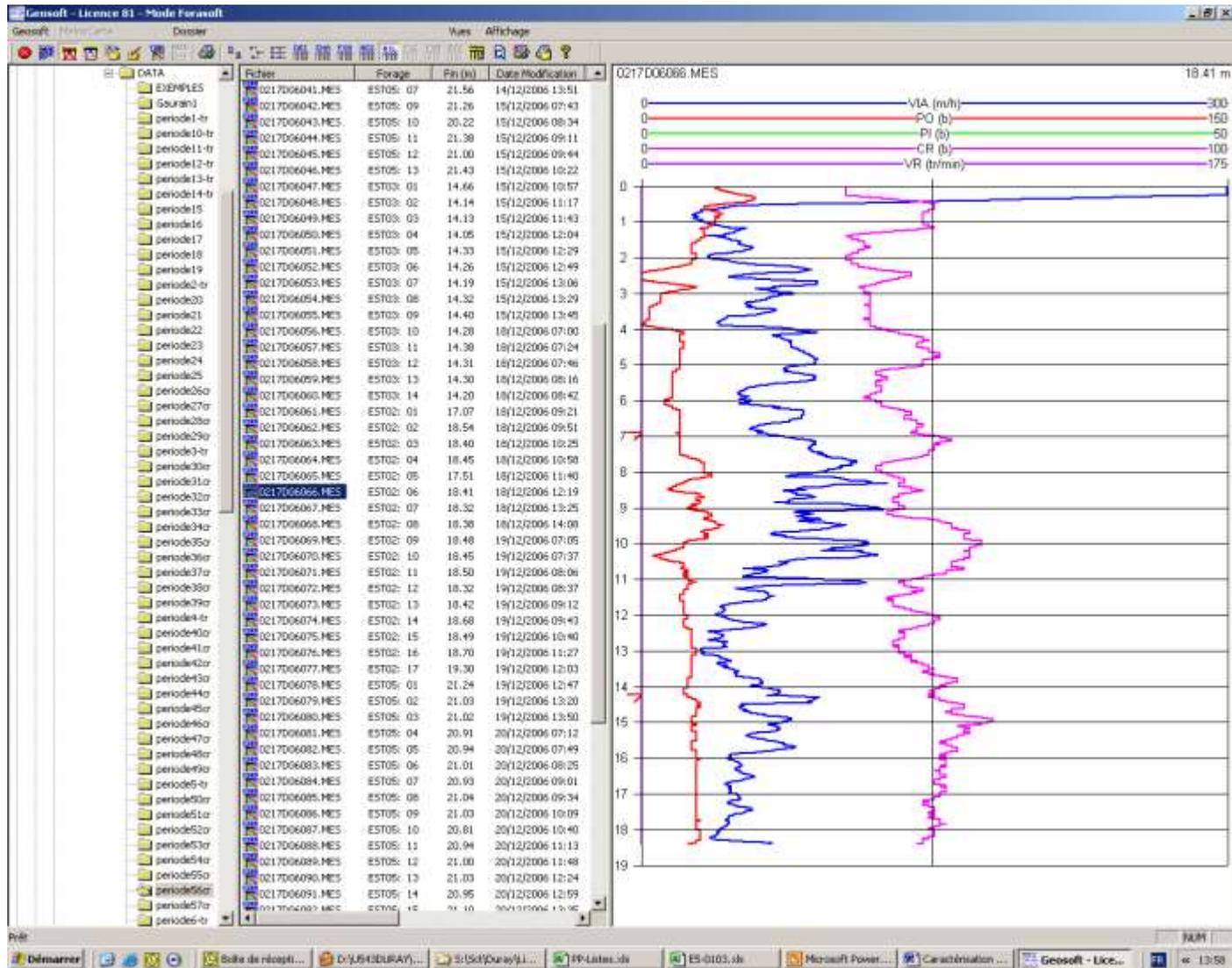


Paramètres mesurés lors de la foration de production

- Machine de forage :
T4BH de la société Ingersoll-Rand
- Centrale de mesure :
FORALIM 4G de la société LIM
- Paramètres mesurés :
 - la profondeur de mesure [cm]
 - V_a : la vitesse d'avance de l'outil [m/h]
 - P_o : la pression sur l'outil [bars]
 - Cr : Le couple de rotation [bars]
 - V_r : la vitesse de rotation [tr/min]



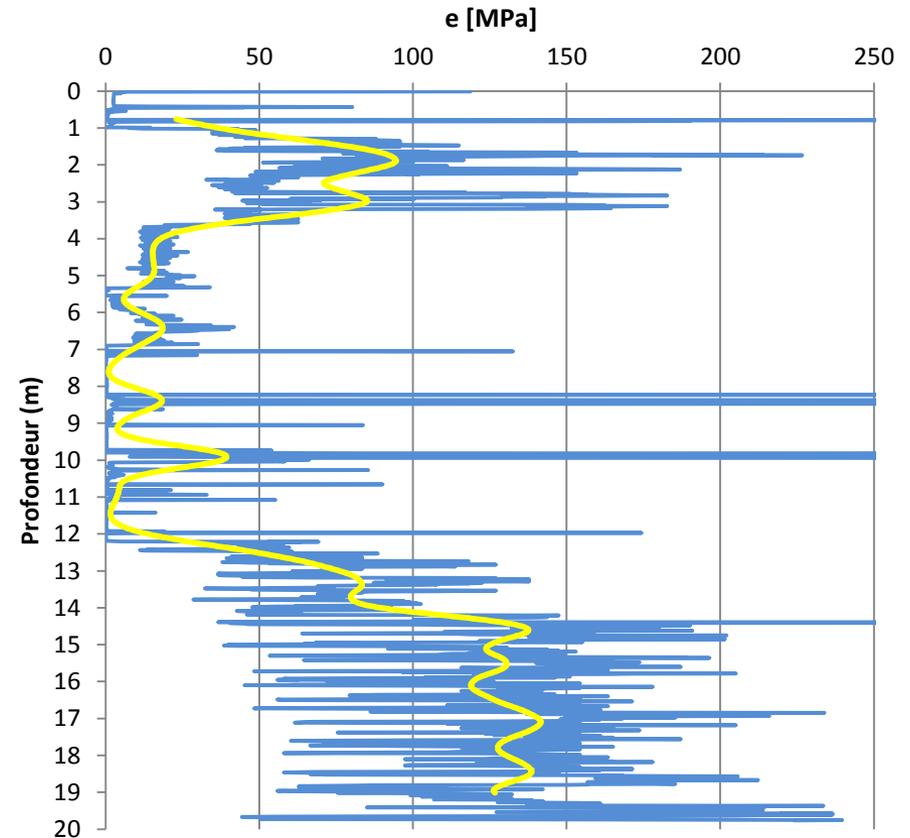
Données enregistrées et Traitement



Calcul de l'énergie spécifique

■ Traitement des diagraphies:

- Paramètres mesurés : V_a , P_o et V_r
- Localisation du trou de mine
 - évolution du paramètre e en fonction de la profondeur
- Utilisation de macros Excel:
 - Importation des données
 - Calcul de e par centimètre
 - Calcul de e moyen par fourneau
 - Réalisation des graphiques
 - Application des moyennes glissantes



Exemple de résultat

Effets de la présence d'une structure de faible résistance mécanique

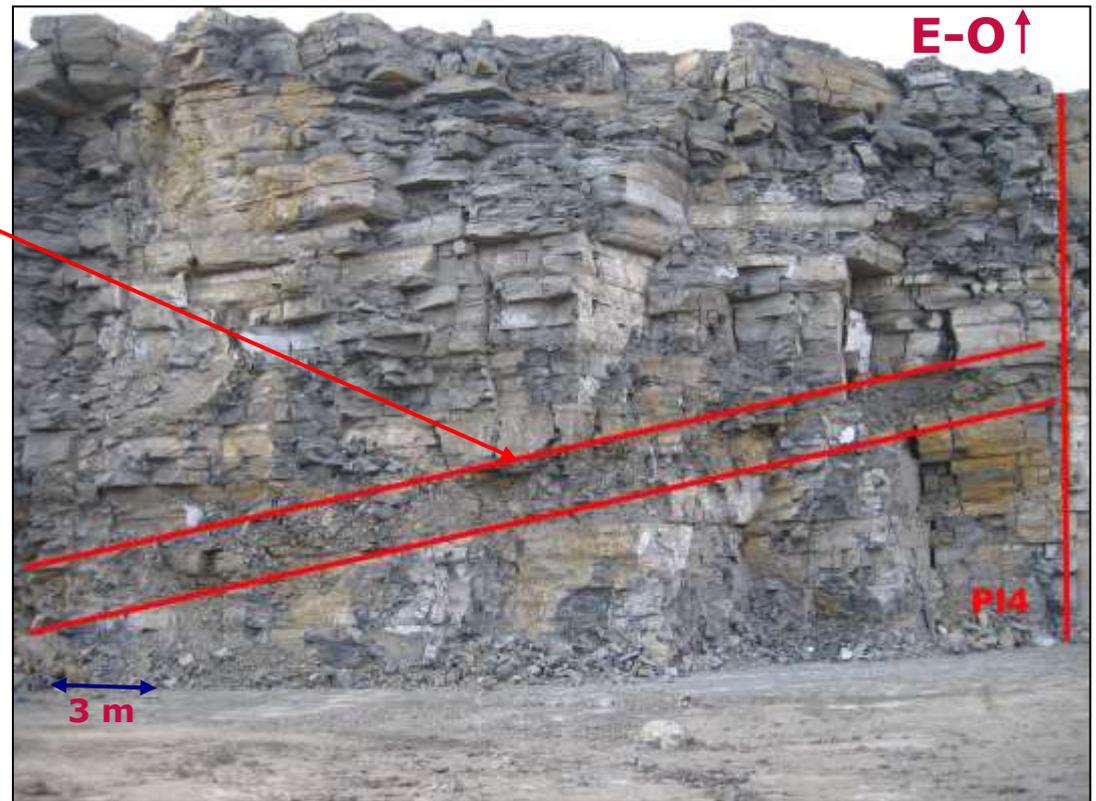
Phénomène observé:

Présence dans le gisement de structures obliques de faible résistance mécanique recoupant la stratification

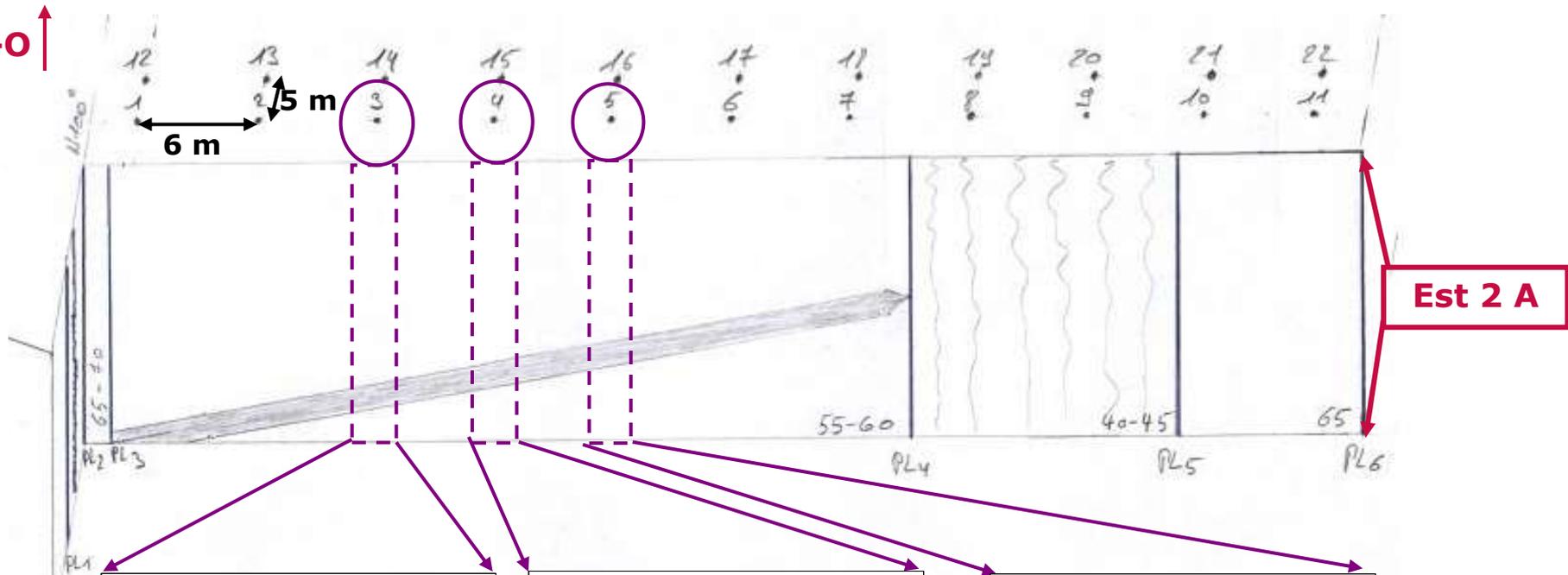
Correspondance dans les graphes:

Chute significative de la valeur de E'

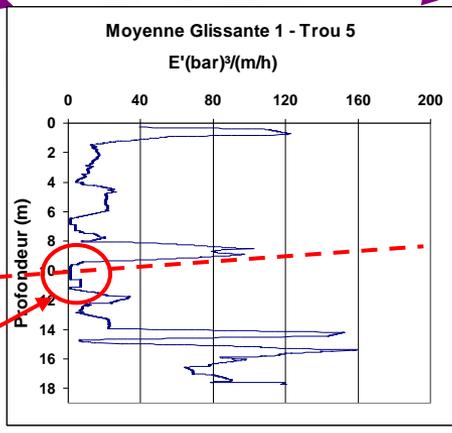
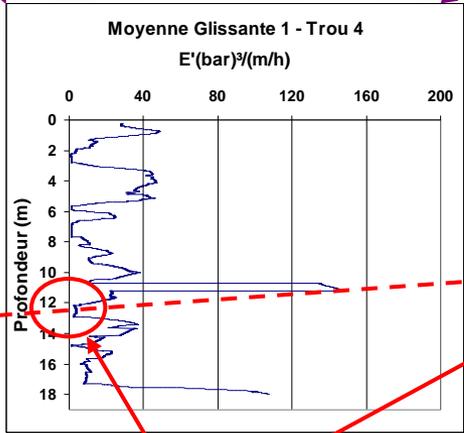
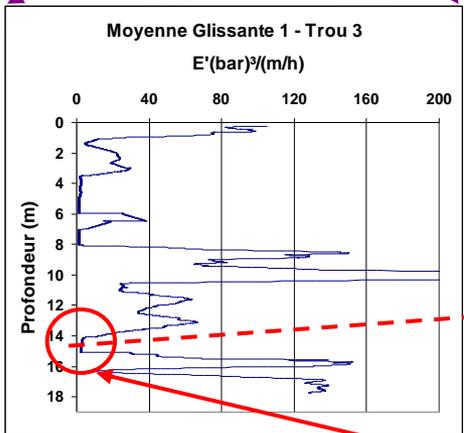
Exemple: Est 2 AB, entre PL 3 et 4



E-O ↑

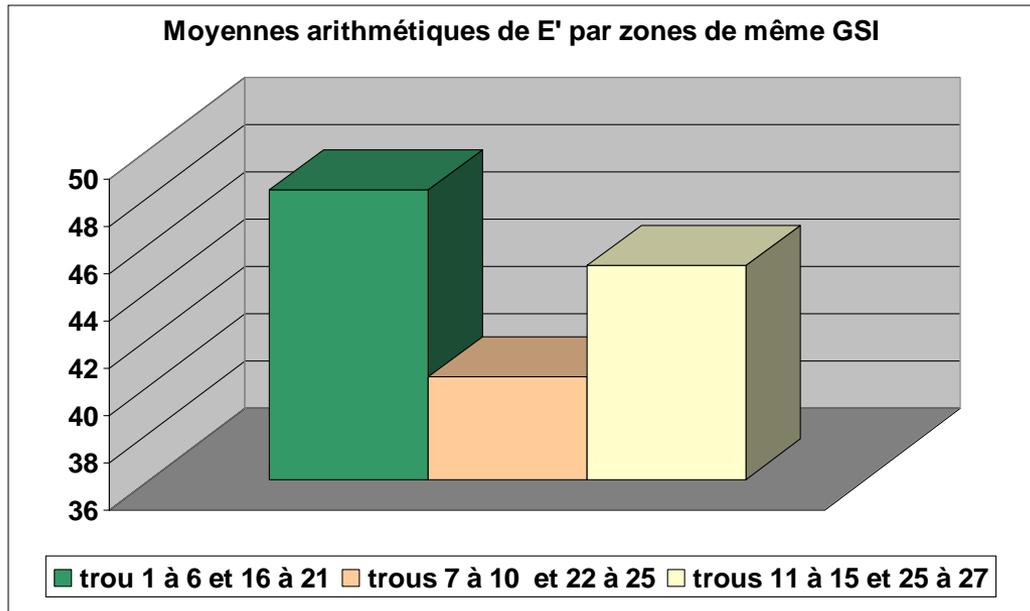
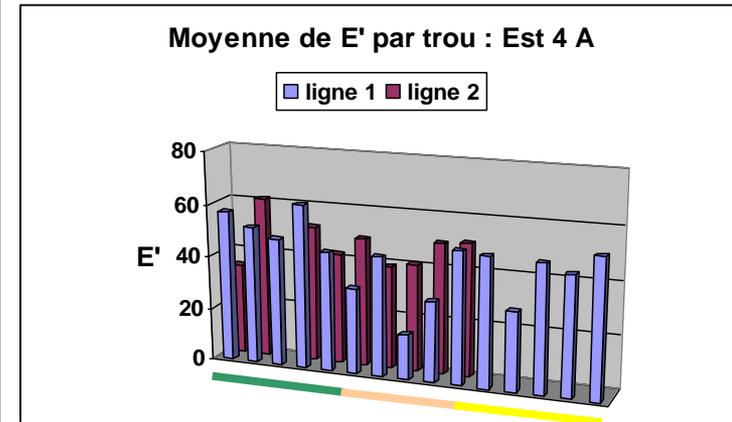
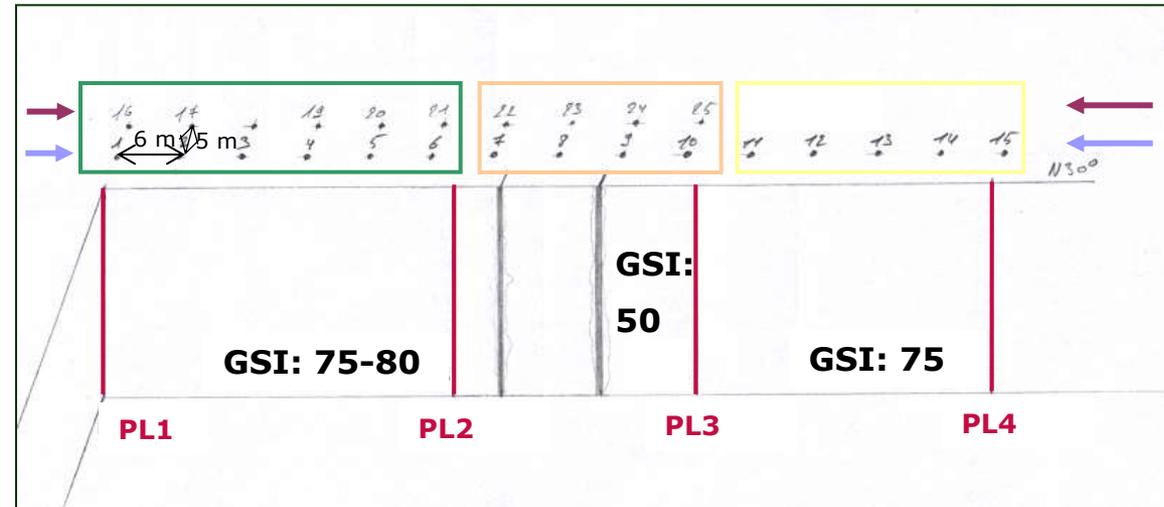


Est 2 A



Chute de E'

Croquis de synthèse d'un front

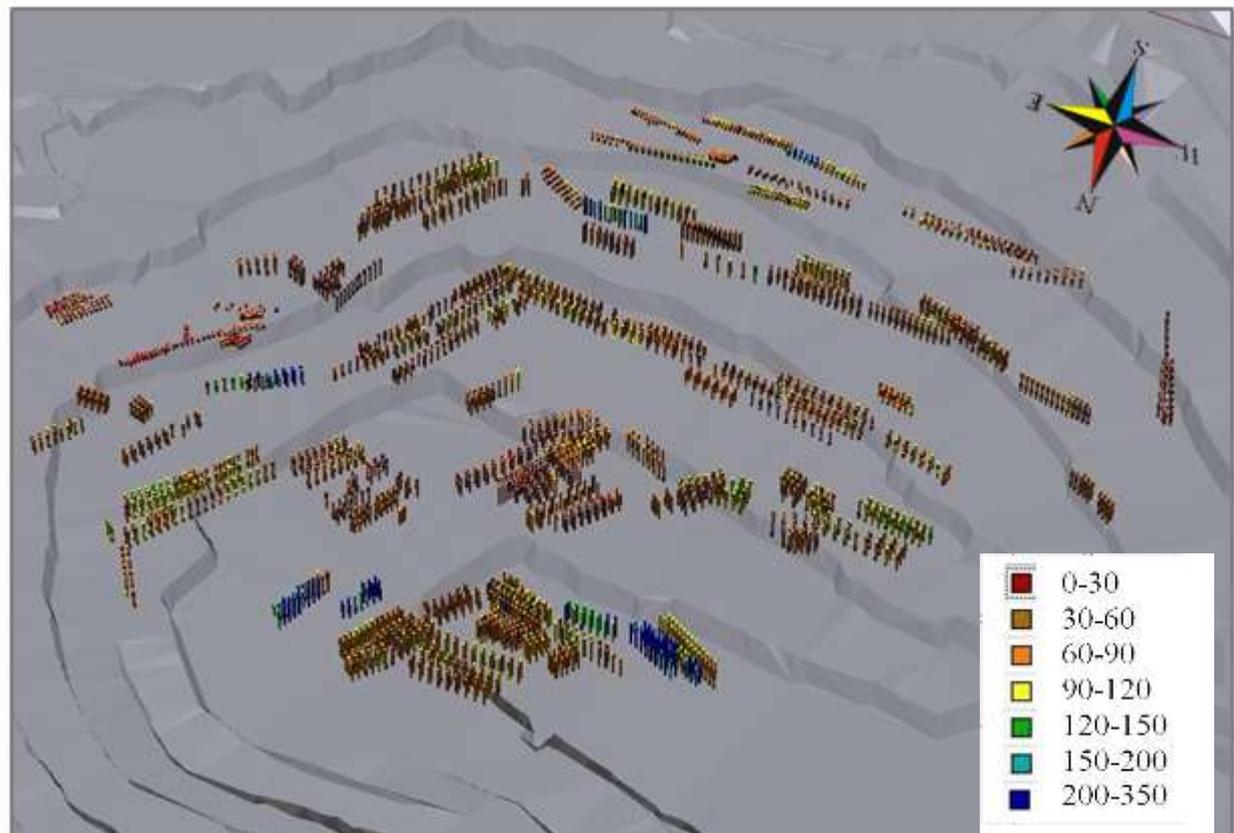
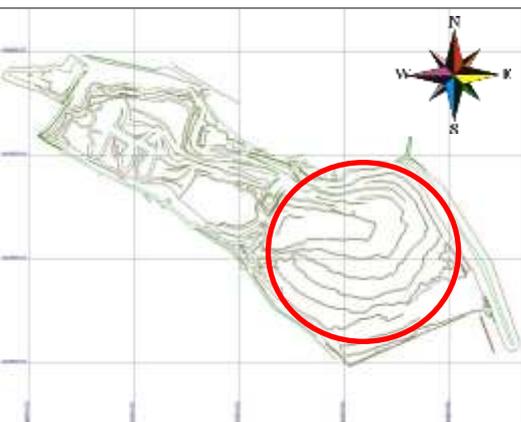


Moyennes arithmétiques par trou

Moyennes arithmétiques par zones de même GSI

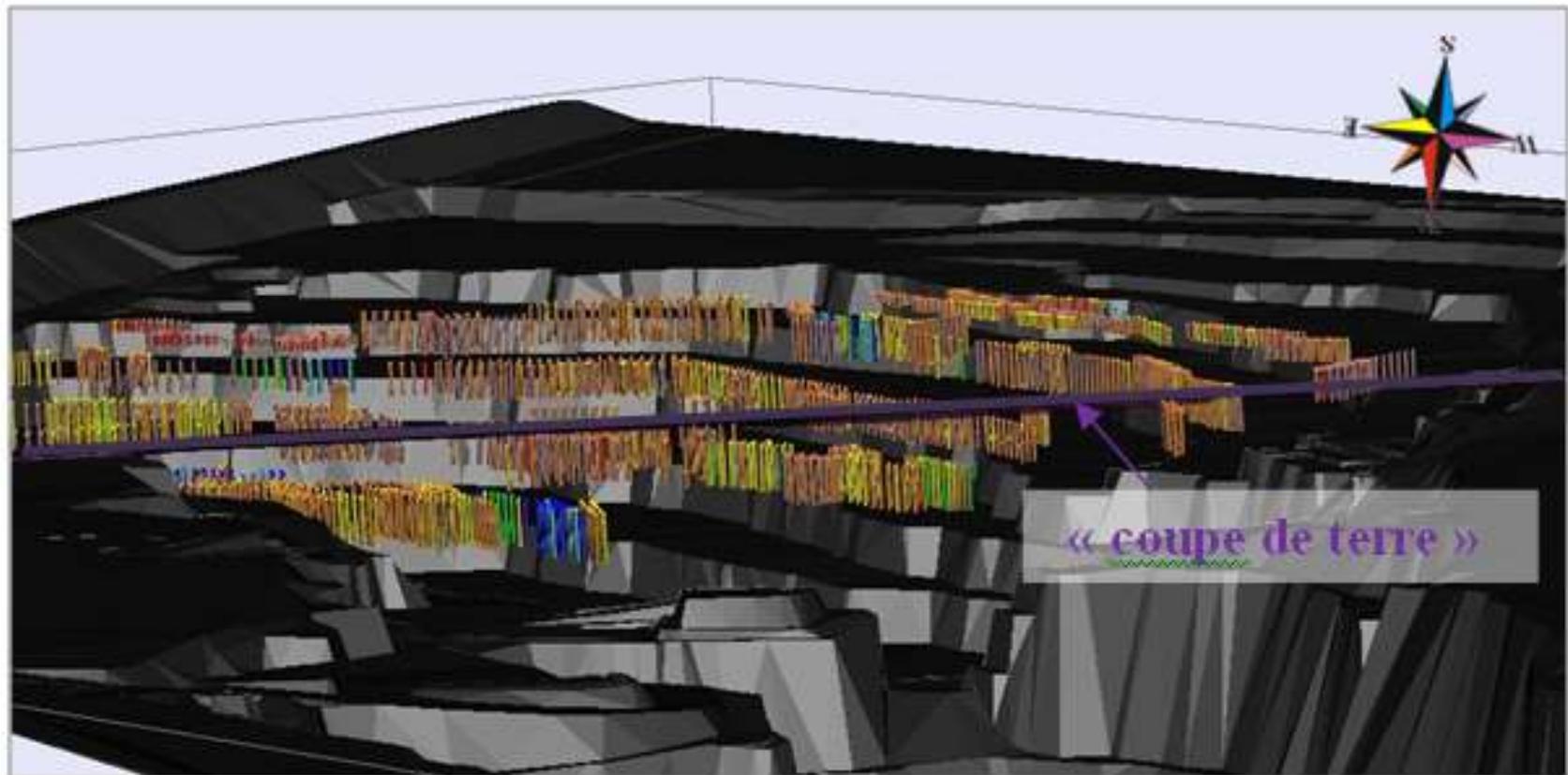
Modélisation de e'

- Traitement des 2300 diagraphies réalisées en 2006
- Modélisation de e' moyen par fourneaux dans le logiciel Gemcom



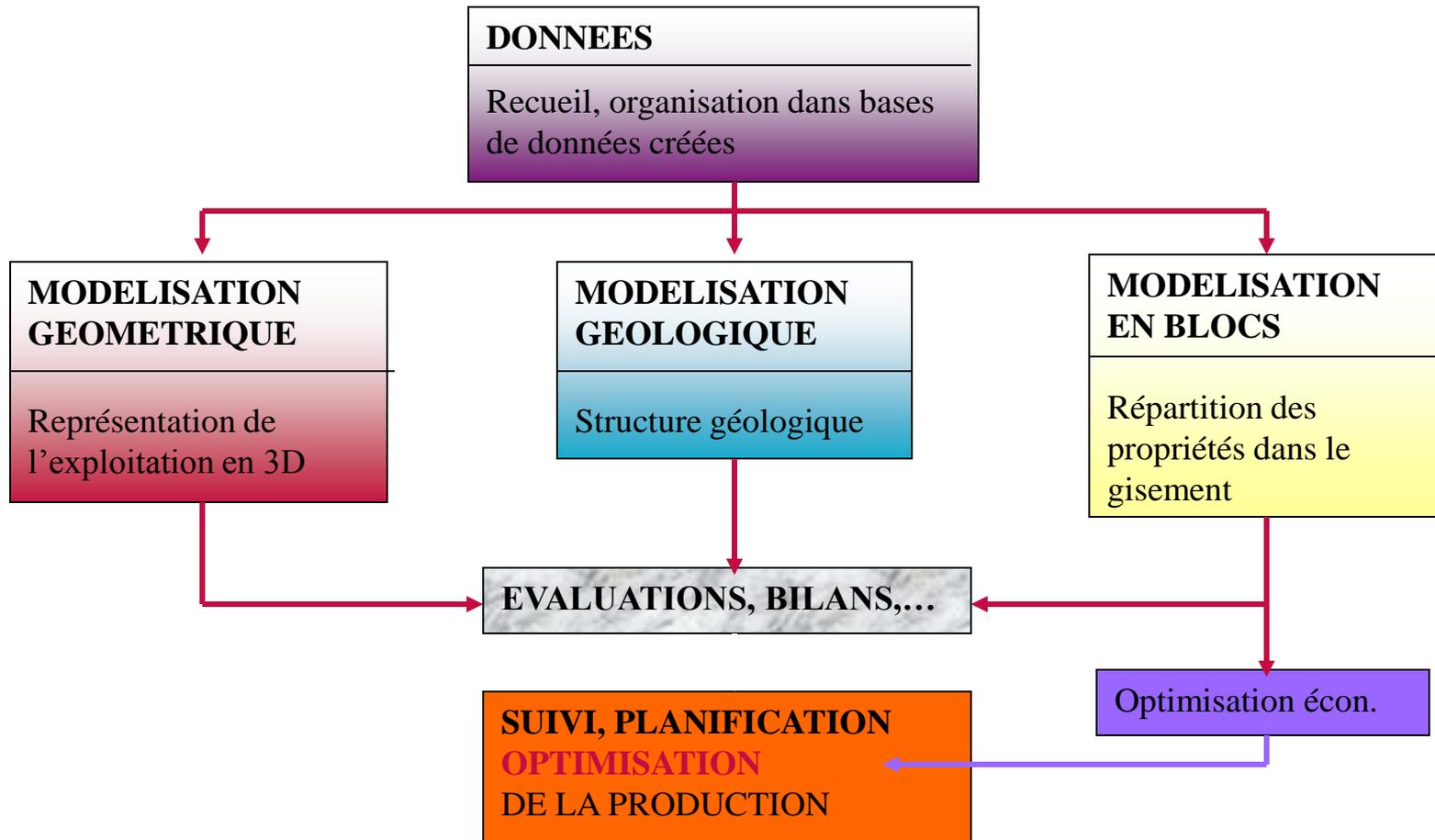
Interprétation

Zones altérées en fonction de la rampe tectonique

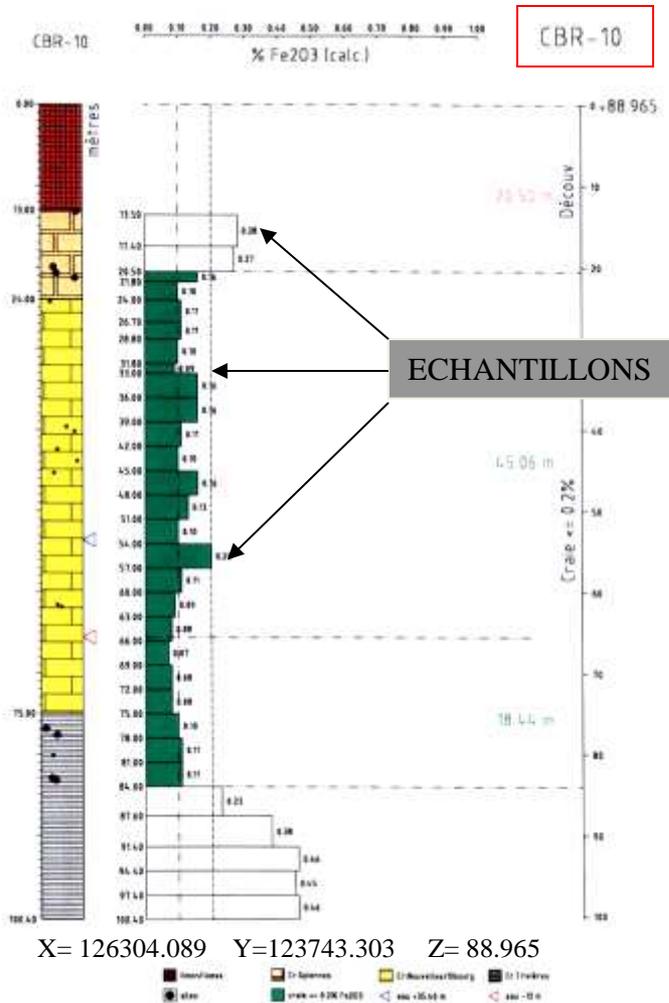


Evaluation de la ressource

Structure d'un projet dans un logiciel de planification



Description d'un sondage



Database: Workspace

Table Principale

Nom du sondage	Localisation du sommet			Longueur
	X	Y	Z	
Sond 1
:
Sond N

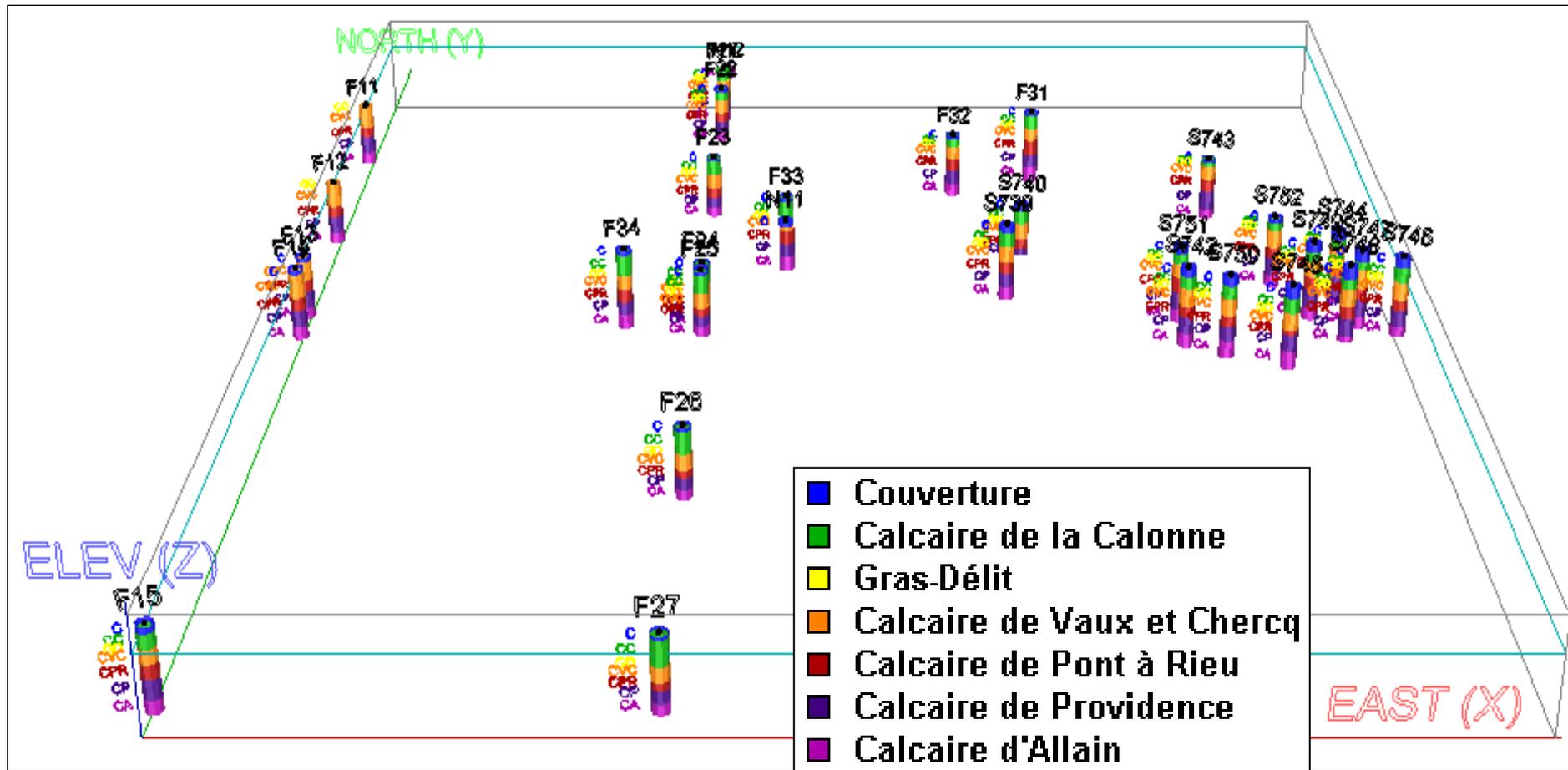
Table Données (secondaire)

Clé Primaire	De	A	Teneur	Type de terrain
Sond 1	Limou
Sond 1	Sable
:
Sond 1	Craie

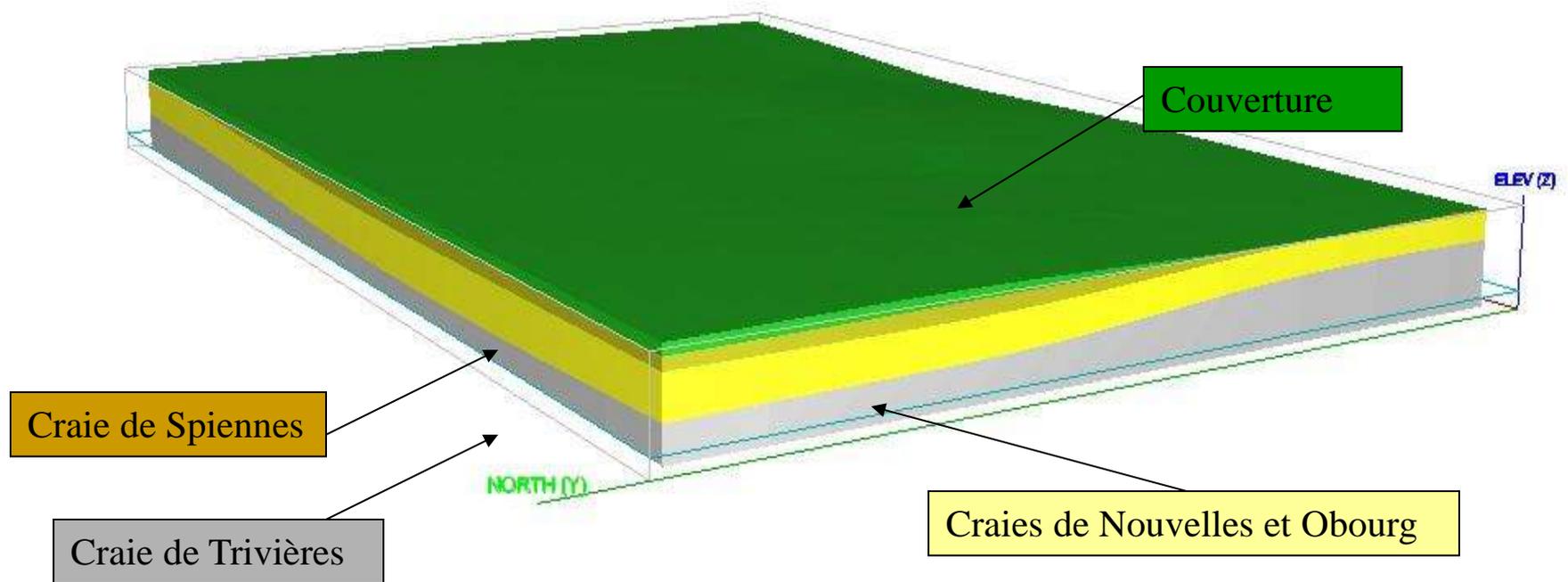
Table Géométrie (secondaire)

Clé Primaire	De	A	Direction	Angle
Sond 1
:
Sond 1

Sondages réalisés dans la région des grandes carrières du Tournaisis: lithologie

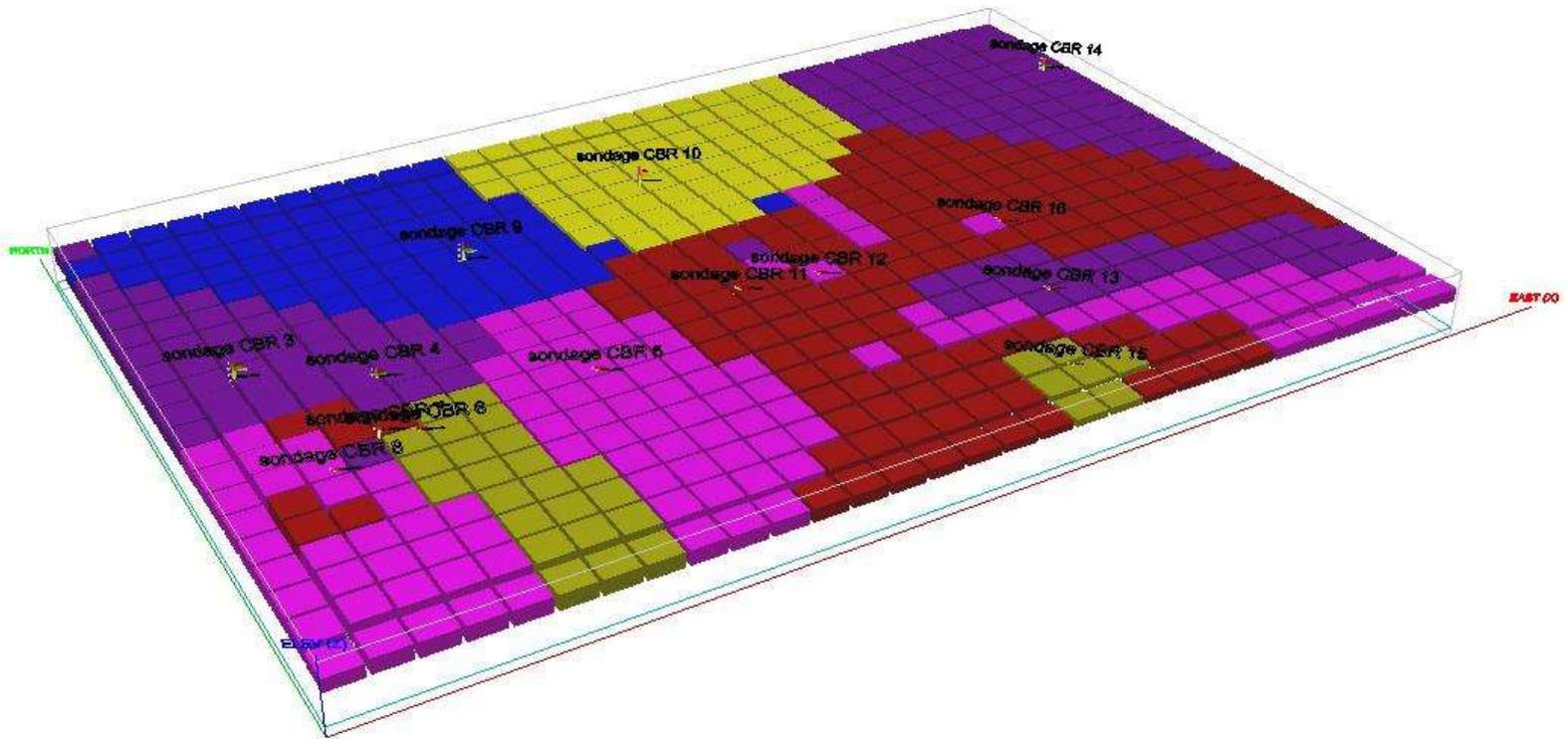


Construction d'un modèle géologique de grilles de Laplace : Harmignies

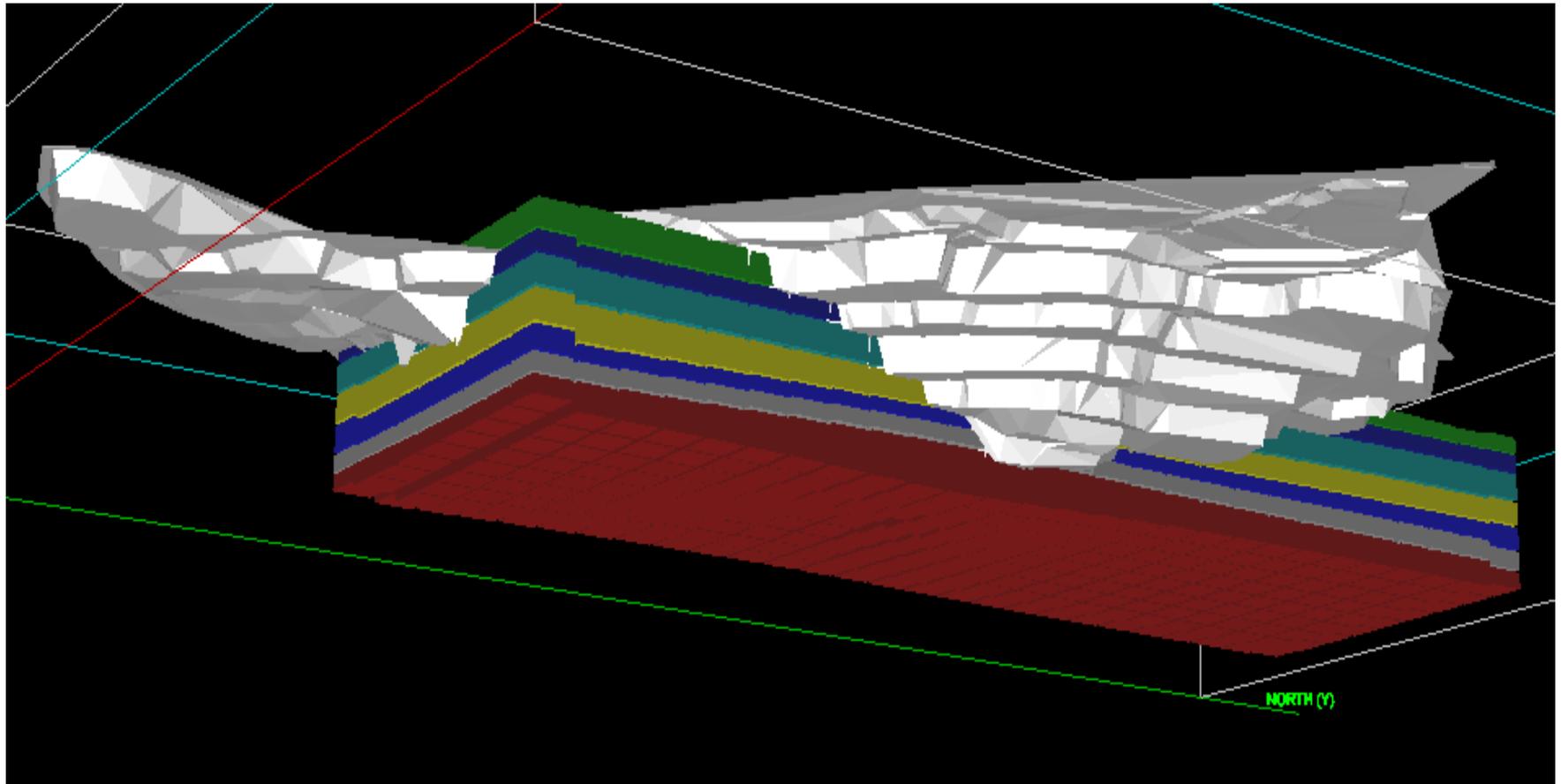


Concept de modèle en blocs à développer

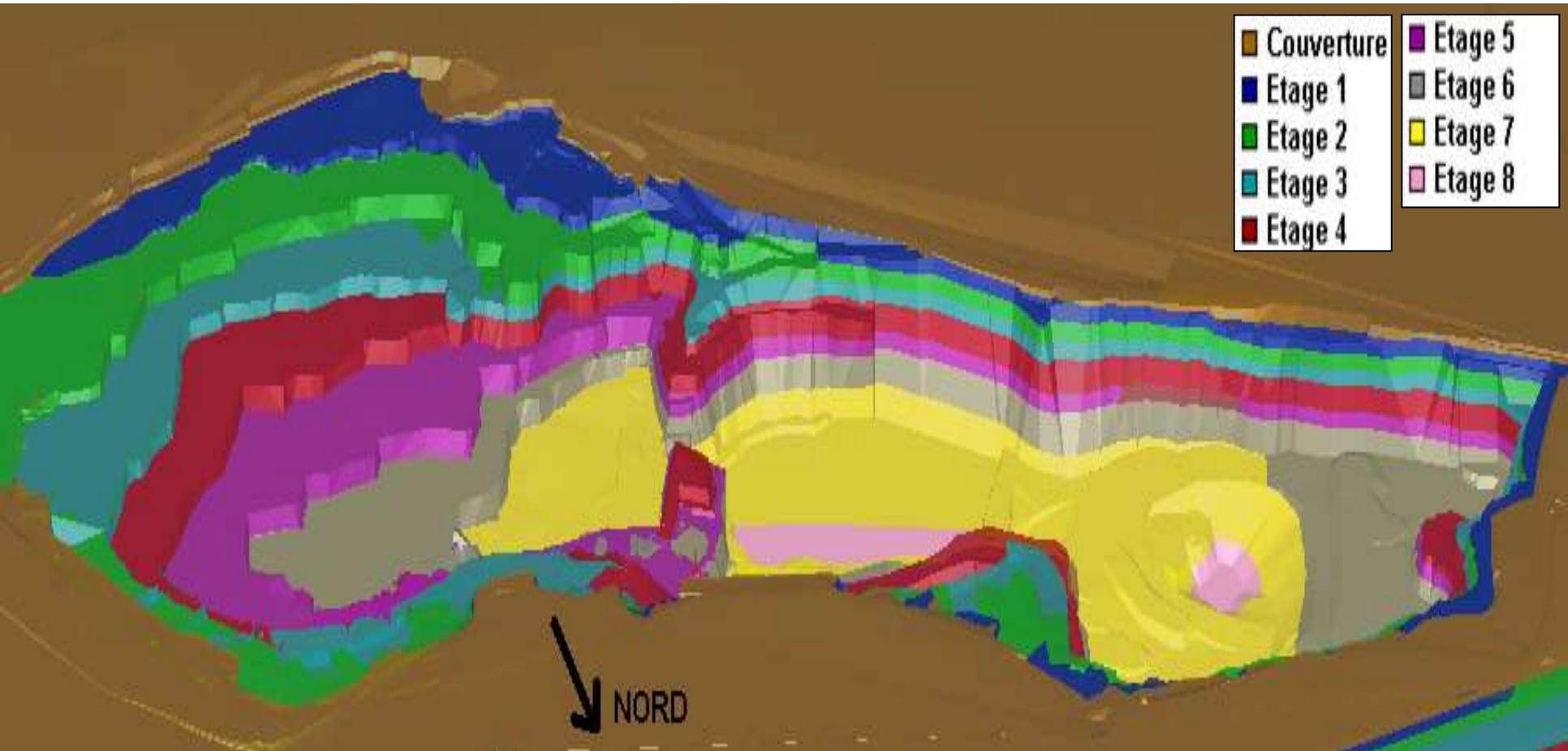
Teneurs ou autres caractéristiques physiques



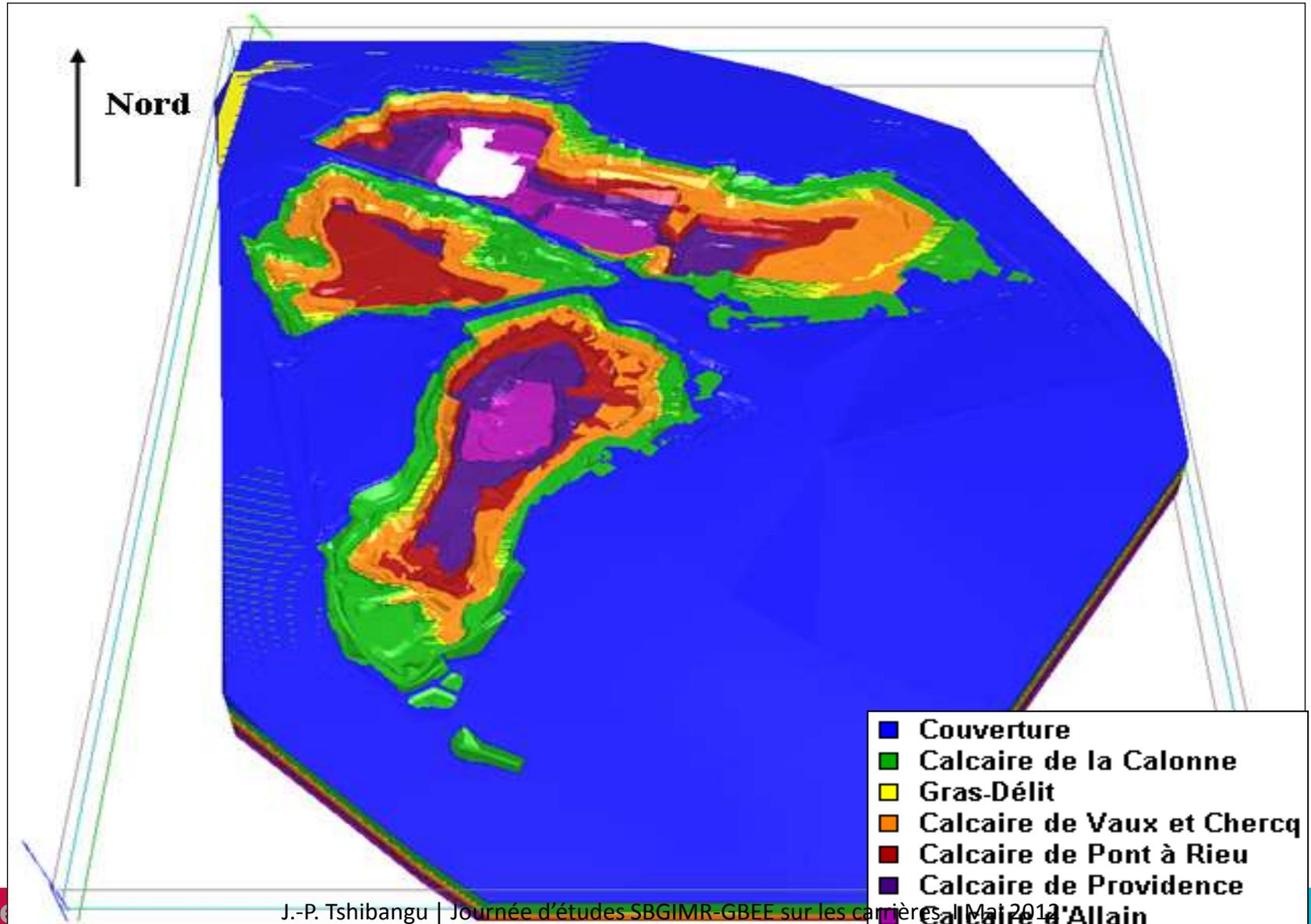
Assises géologiques et topo actuelle: exemple Carrière d'Antoing



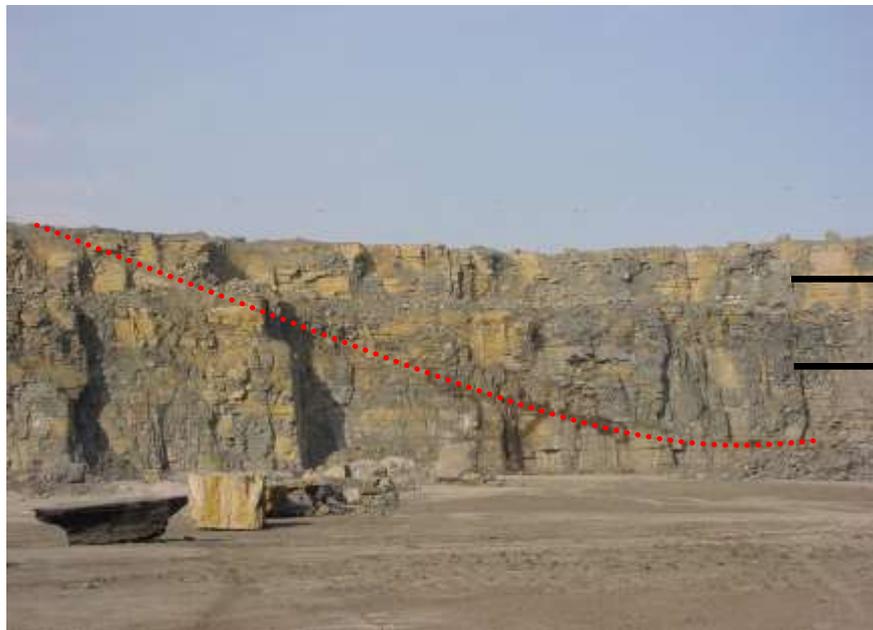
Découpage en étages à la carrière du Milieu



Modélisation géologique construite sur les 3 carrières du Tournaisis



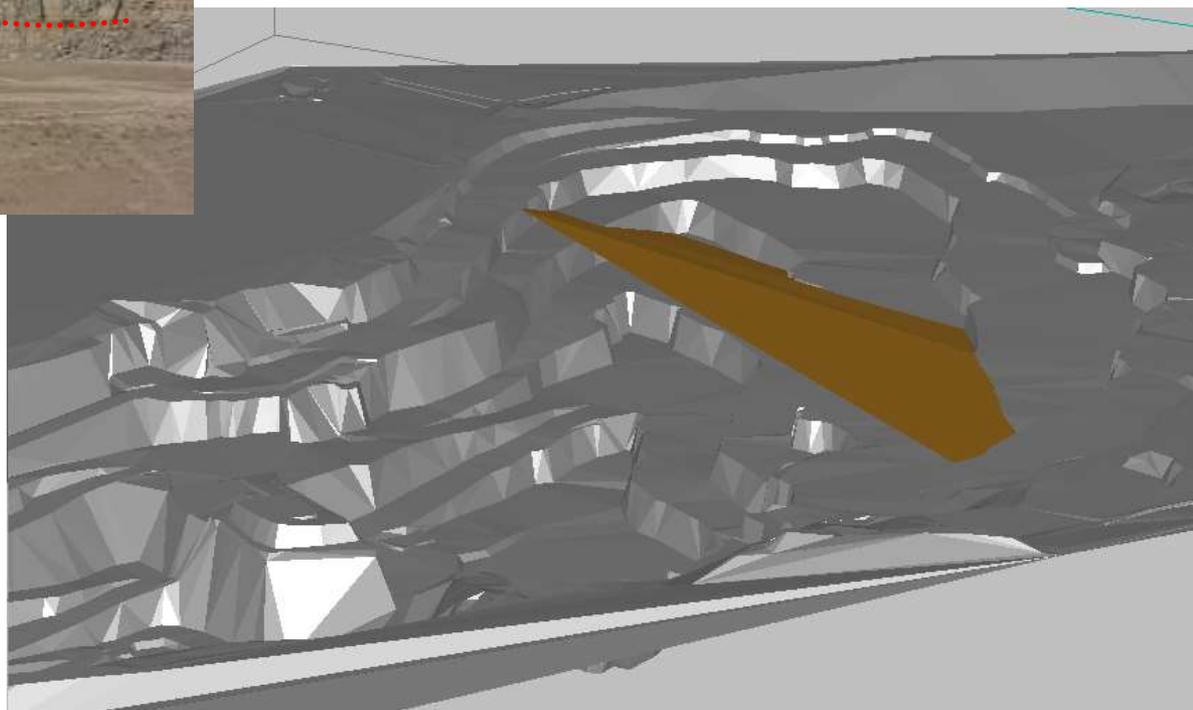
Intégration d'autres éléments géologiques



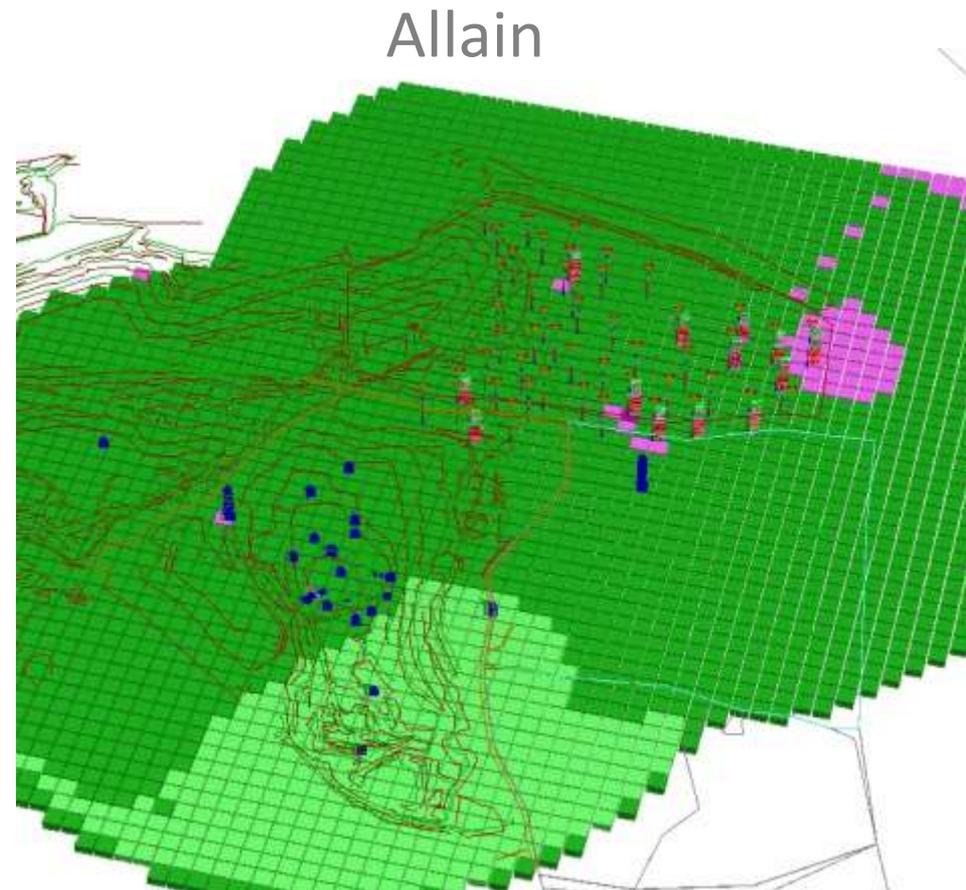
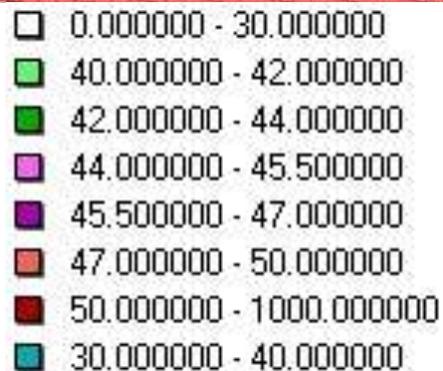
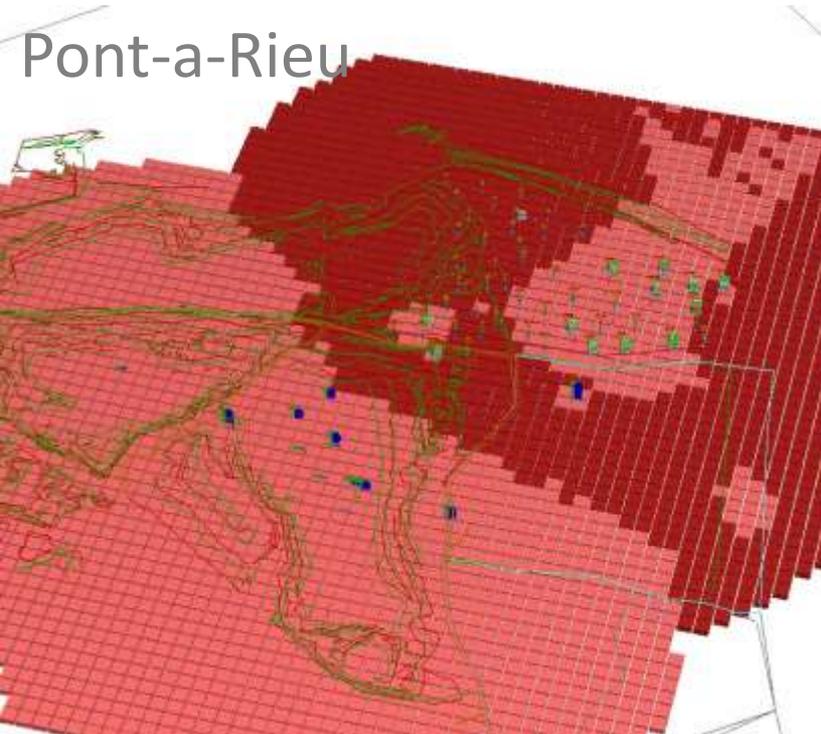
Coupe de terre dans la zone N-E

→ Est 3
→ Est 4

Plan hypothétique recoupant ces coupes de terre



Modèle de blocs construit sur le tournaisis: %CaO

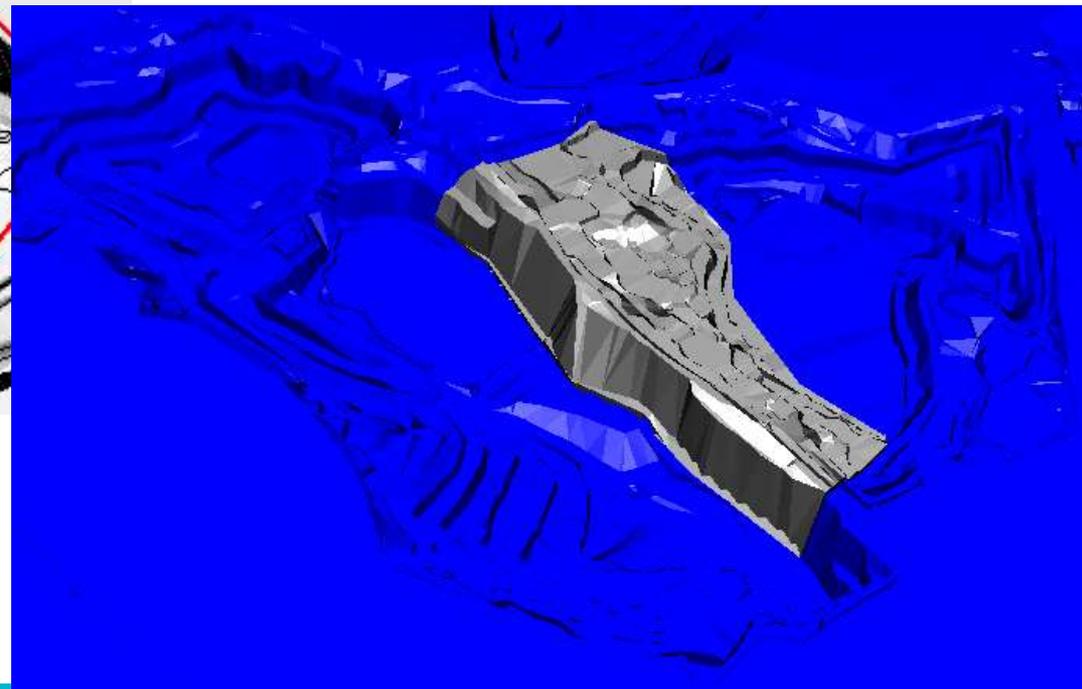


Conception et planification des exploitations

Principes de la démarche

- Choix de la géométrie des gradins (hauteur et angle) sur base des paramètres techniques d'exploitation
- Etudes géomécaniques de stabilité
- Simulation géométrique de l'évolution des exploitations dans le temps
- Estimation des réserves récupérables
- Considérations économiques
- Mise à jour des fronts en cours d'exploitation

Exemple de l'étude du mur séparant les carrières Lemay et Antoing



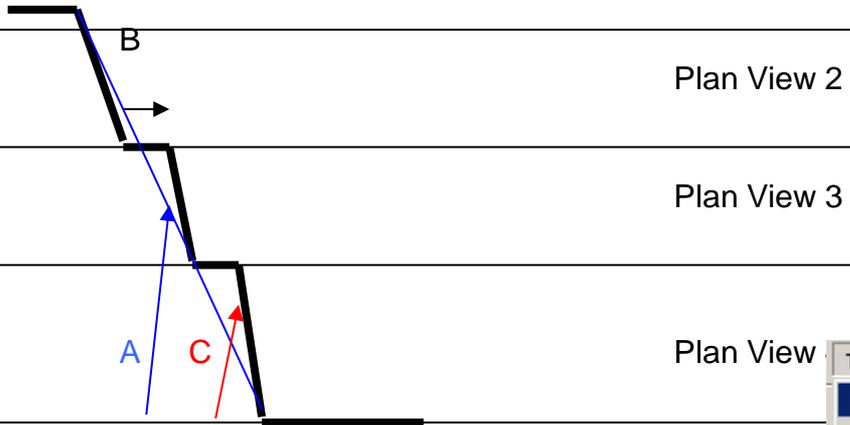
Simulations possibles de l'évolution: Le pit design

Plan View 1

Plan View 2

Plan View 3

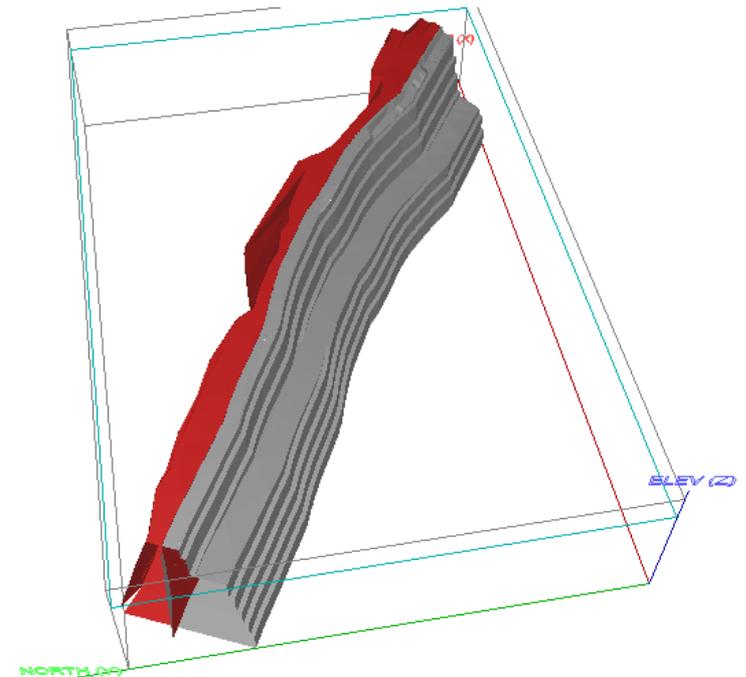
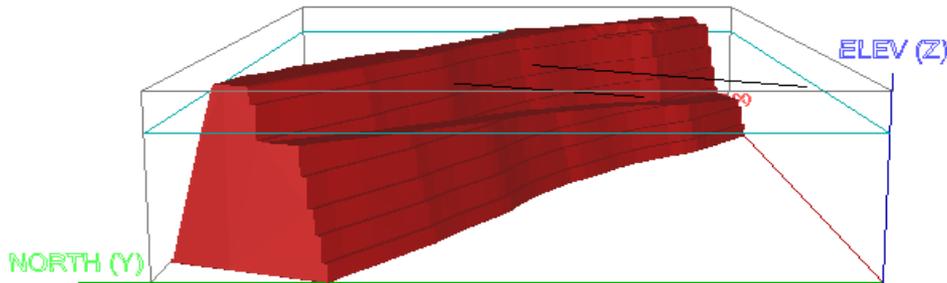
Plan View



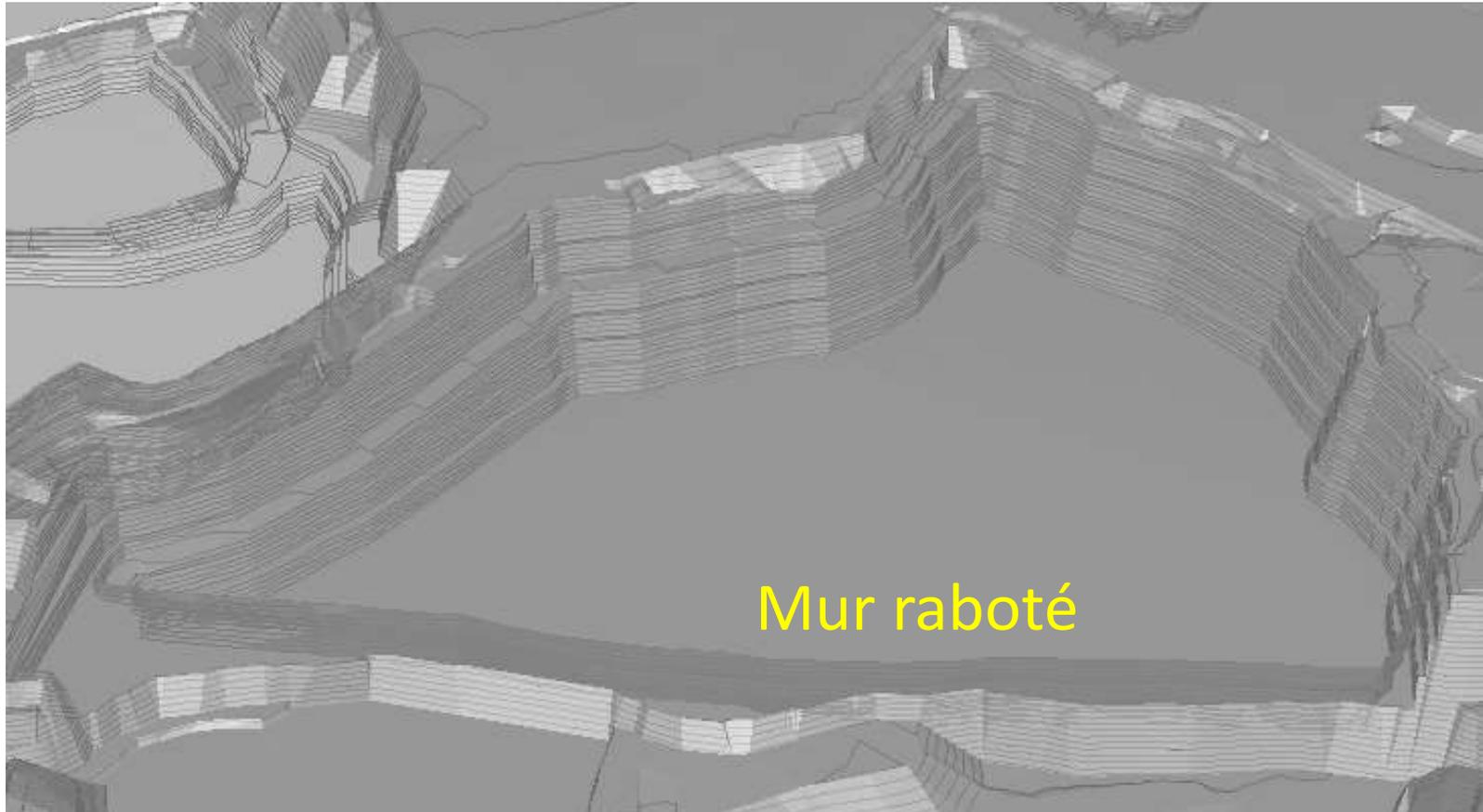
Tools Options Help

- Pit/Ramp Design
 - Data
 - Parameters
 - Create/Edit
 - Set Current Bench (Crest)
 - Set Current Bench (Toe)
 - Create New Toe/Crest/Slot Line
 - Check Node Domain Value
 - Automatically Fix Feature
 - Activate Feature
 - Create Ramp Entrance
 - Create Slot Entrance
 - Create Switchback
 - Create Line for Opposite Ramping
 - Expand Single Bench
 - Expand Multiple Benches
 - Delete Features Below Active
 - Delete Features Above Active
 - Display
- Blasthole Design
- Blast Ring Design
- Create Plane Plots
- Area Digitizing
- Digitizing
- DXF Utilities
- Graphics Output
- Other Utilities

Un exemple de découpage du mur côté Lemay: sommet à +32m



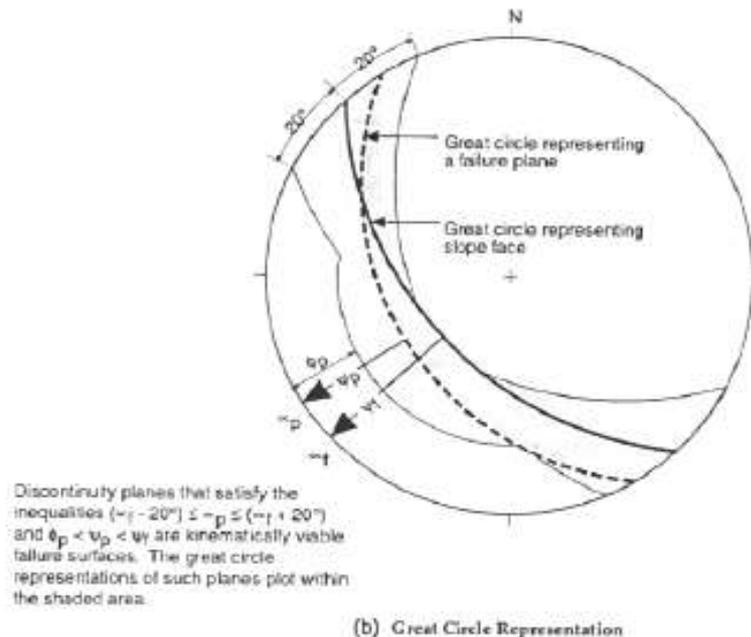
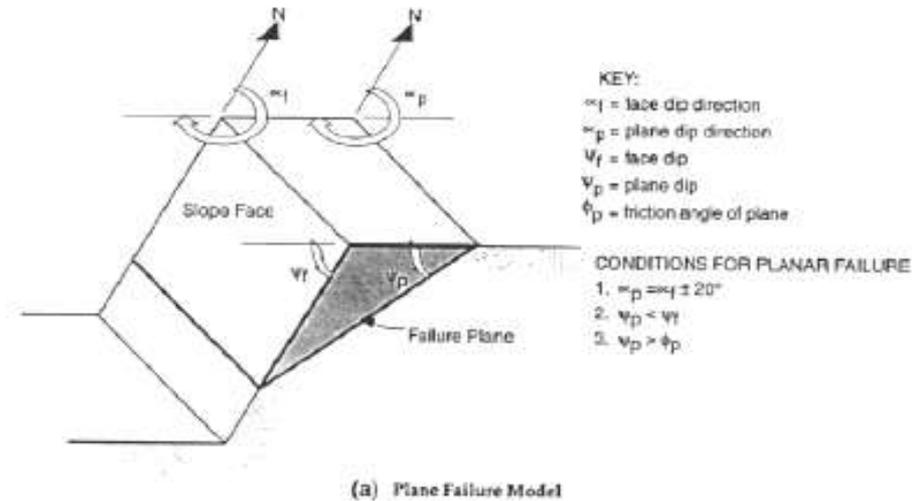
Autre exemple: le sommet du mur est à -60m



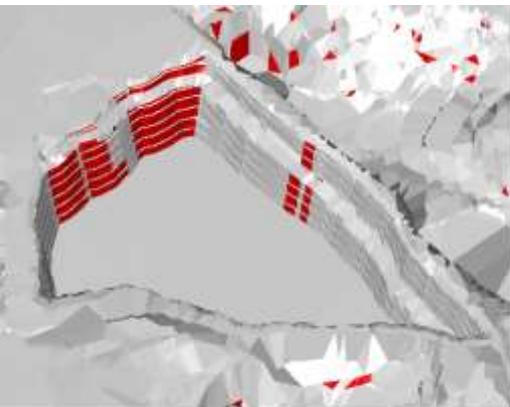
Analyse des conditions de rupture

Conditions de rupture plane:

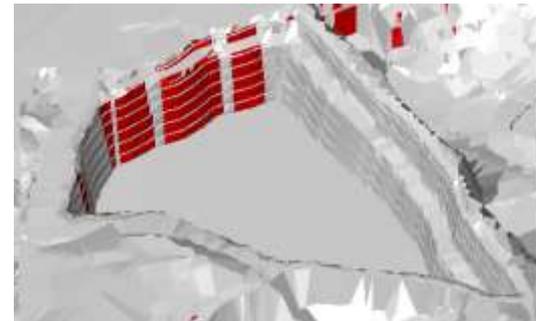
- Direction du plan de glissement \cong parallèle à la face du talus ($\pm 20^\circ$)
- Pan de glissement débouche dans la face du talus \rightarrow pendage $<$ face du talus $\rightarrow \psi_p < \psi_f$
- Pendage du plan de rupture $>$ angle de frottement de ce plan $\rightarrow \psi_p > \Phi$
- Présence de surfaces de dégagement avec une résistance au glissement négligeable, pour définir les limites latérales du glissement



Application Lemay : mur intégral à +32m



■ Zone de risque de rupture plane

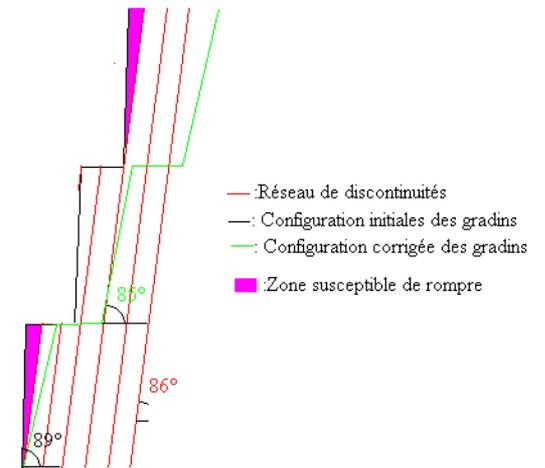


■ Zone de risque de rupture en coin

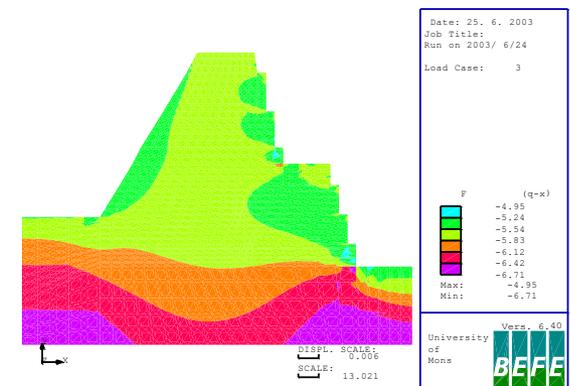
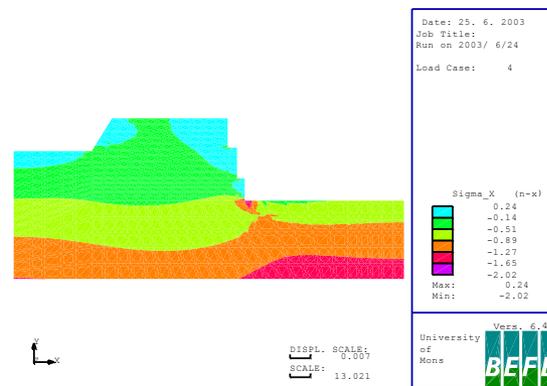
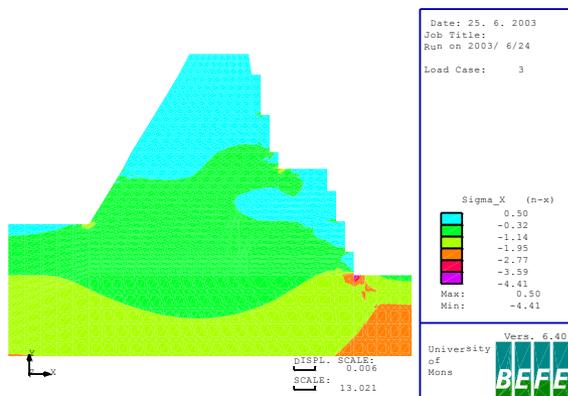
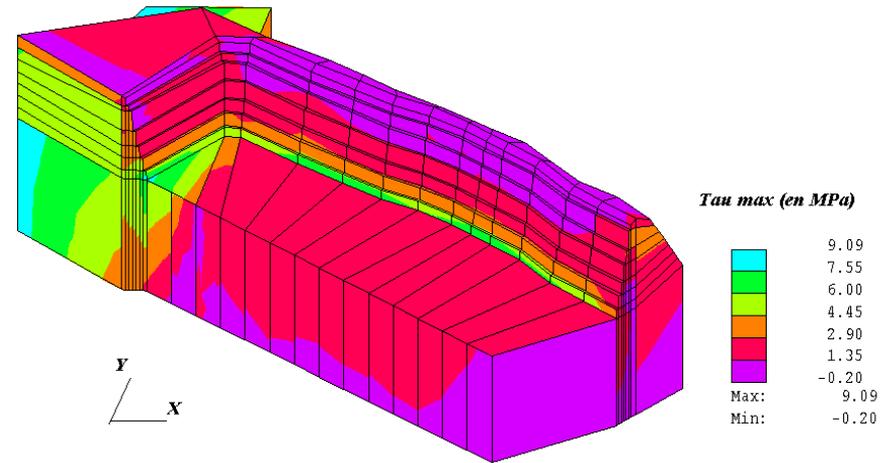
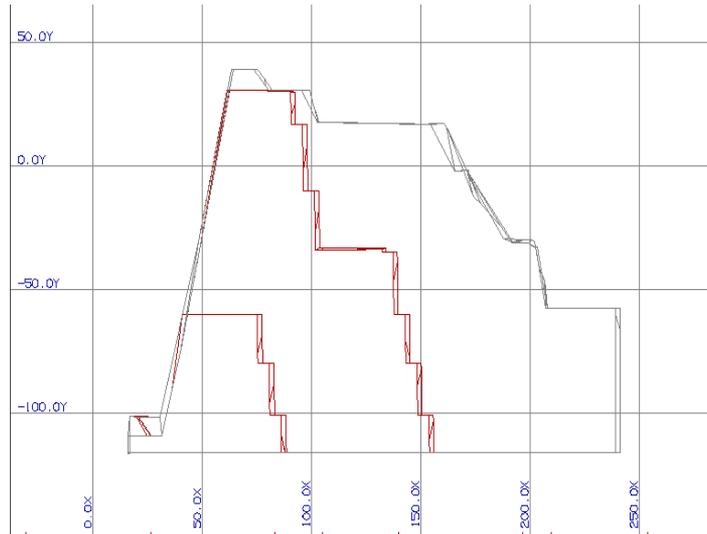


■ Zone de risque de rupture en basculement

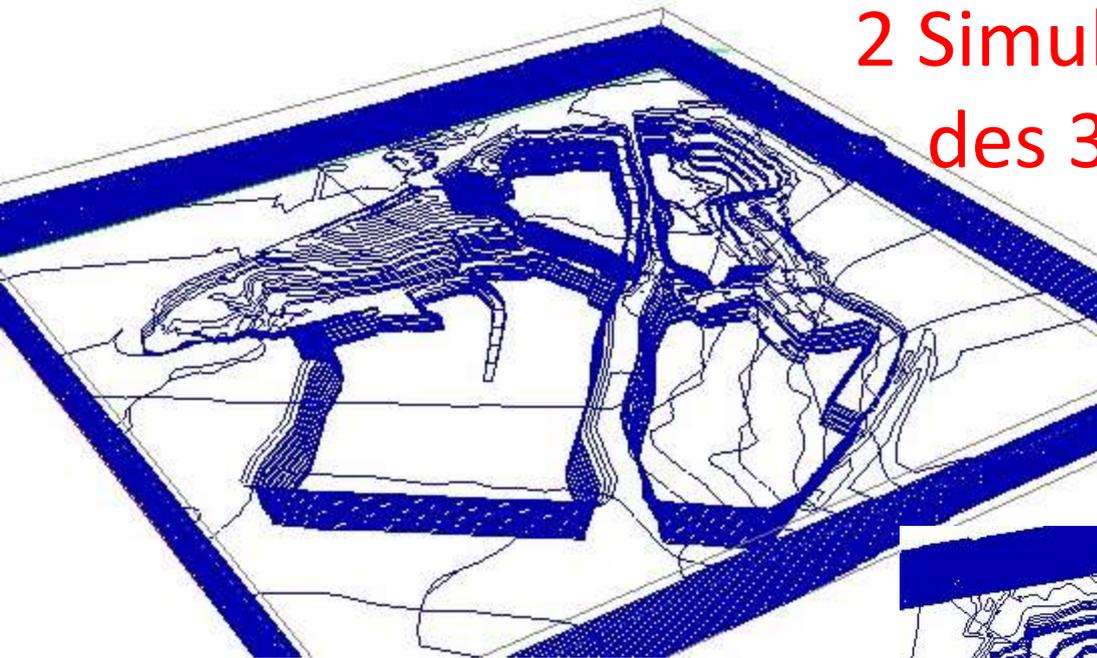
Correction des talus



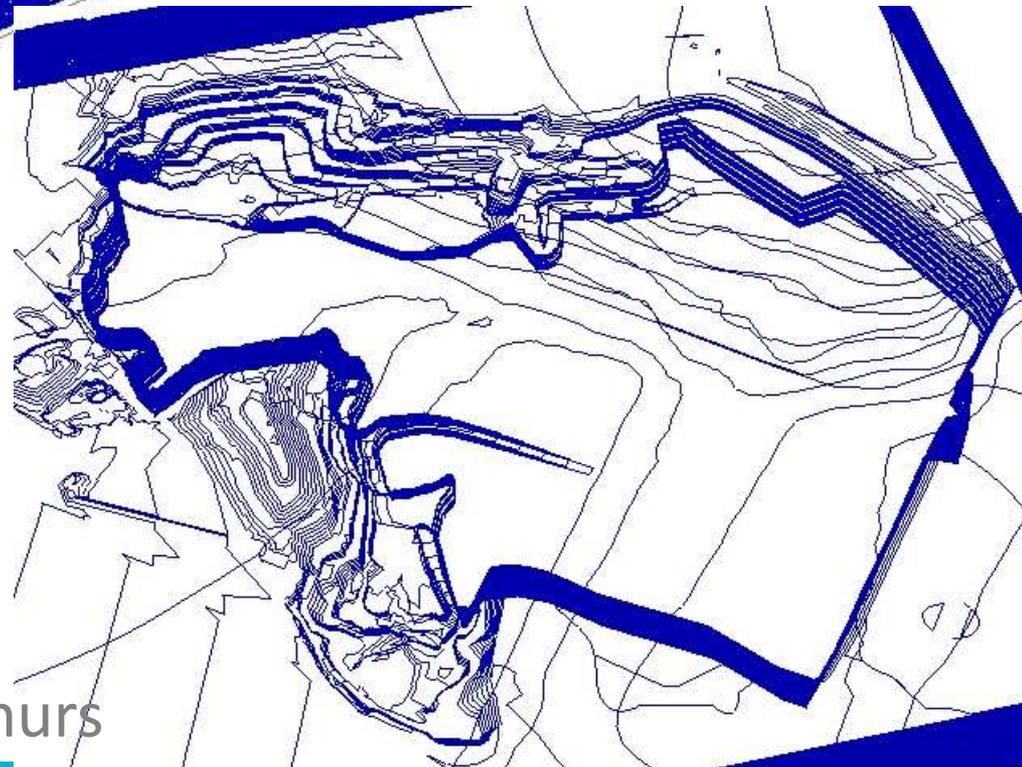
Simulations géomécaniques de configurations de mur



2 Simulation de situations des 3 carrières en fin de vie



Scénario avec les murs



Scénario sans murs

Réserves jusque fin de vie

	Carrière du Milieu		Carrières d'Antoing		Carrière Lemay	
Estimation des réserves en Stand Alone (Plan n°GF-1)						
Vol. calcaire (Mm³)	88.0		140.1		28.5	
Vol. pierre propre (Mm³)	81.8	93%	133.1	95.0%	25.7	90.0%
Vol. stérile (Mm³)	6.2	7%	7.0	5.0%	2.9	10.0%
Vol. couverture (Mm³)	7.7		14.1		0.0	
Vol. foisonné à mettre en décharge (Mm³)	16.6		25.4		3.4	
Tonnage pierre propre (MT)	216.8		352.8		74.0	
Durée de vie (année)	24.5		96.7		49.0	
Estimation des réserves dans les murs (Plan n°GF-2)						
Vol. calcaire (Mm³)	32.3		14.1		11.5	
Vol. pierre propre (Mm³)	31.2	93%	13.4	95.0%	10.3	90.0%
Vol. stérile (Mm³)	1.1	7%	0.7	5.0%	1.1	10.0%
Vol. couverture (Mm³)	1.5		0.4		0.0	
Vol. foisonné à mettre en décharge (Mm³)	3.2		1.3		1.4	
Tonnage pierre propre (MT)	82.7		35.4		27.3	
Durée de vie suppl. (année)	20.0		10.0		18.0	

Exemple de considérations économiques

Bloc A (5, 5, 3) :

Craies de Nouvelles et Obourg

Tonnage : 353619,30 ton

Teneur : 99,8579

Minerai

Coût de revient : 26 884 676,39 \$

Revenu total : 31 353 124,87 \$

Valeur économique : 4 468 448, 48 \$

Bloc B (15, 15, 3) :

Craies de Nouvelles et Obourg

Tonnage : 245061.05 ton

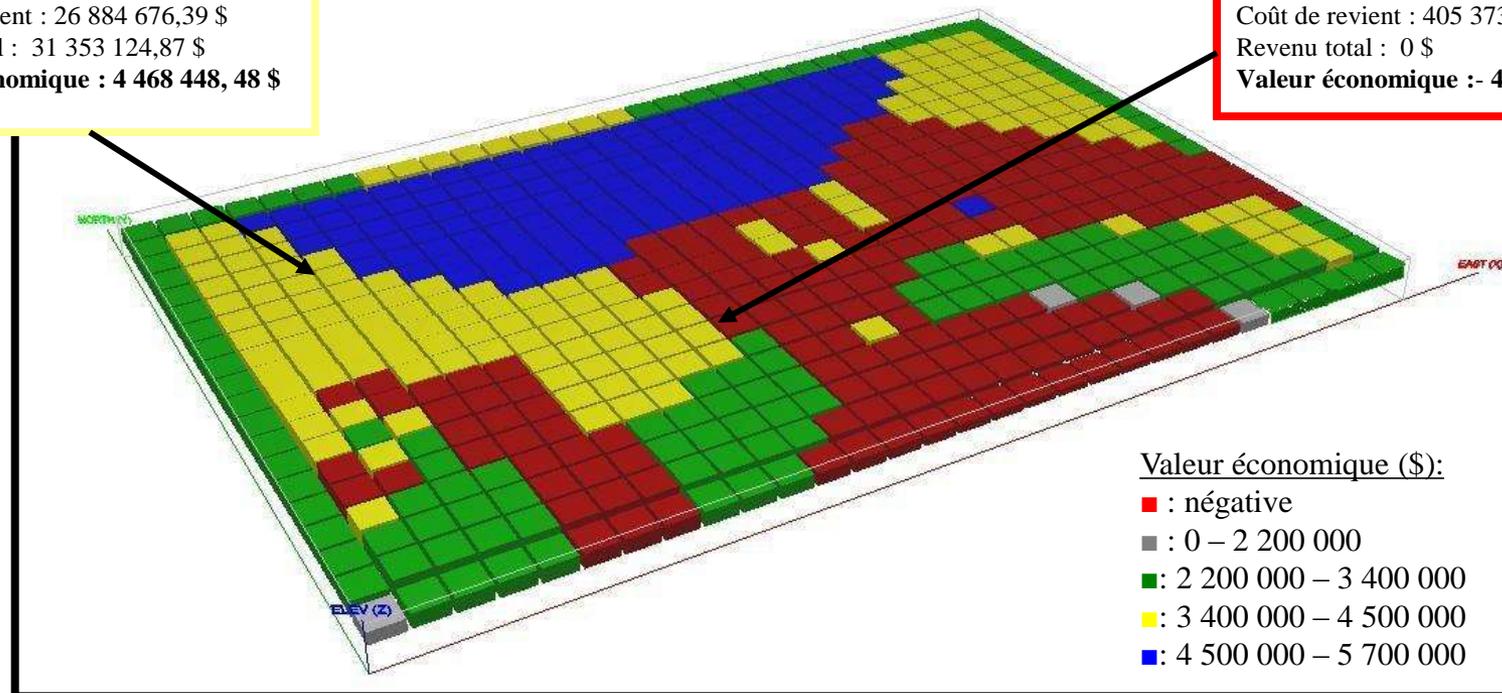
Teneur : 99,7599

Stérile

Coût de revient : 405 373,81 \$

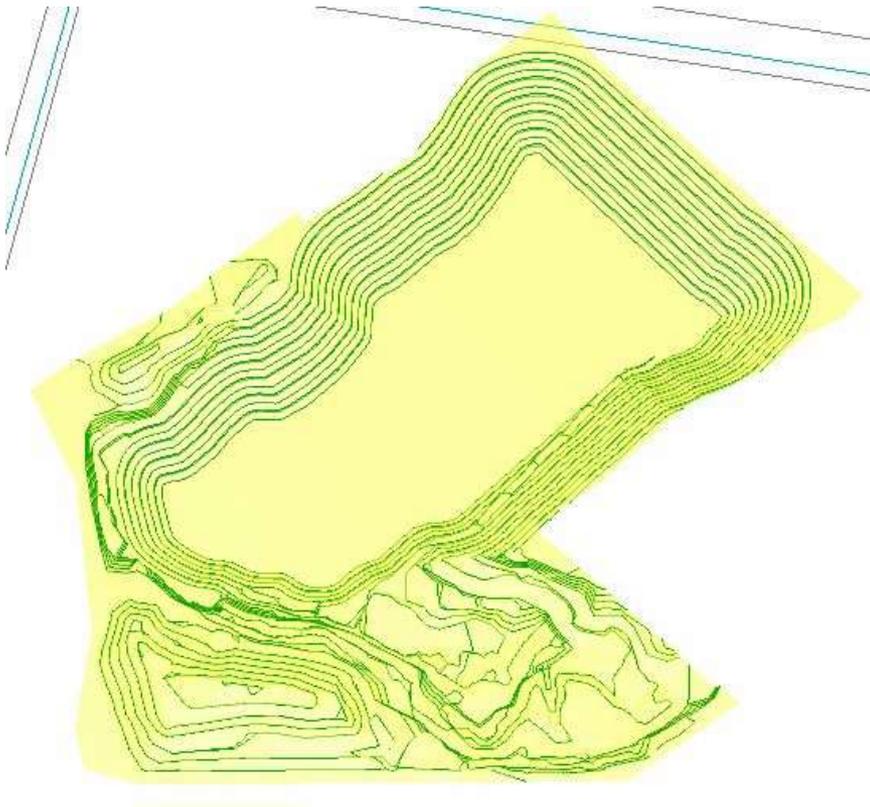
Revenu total : 0 \$

Valeur économique :- 405 373,81 \$



Analyse de sensibilité économique : Wittle 4D – Carrière d'Antoing

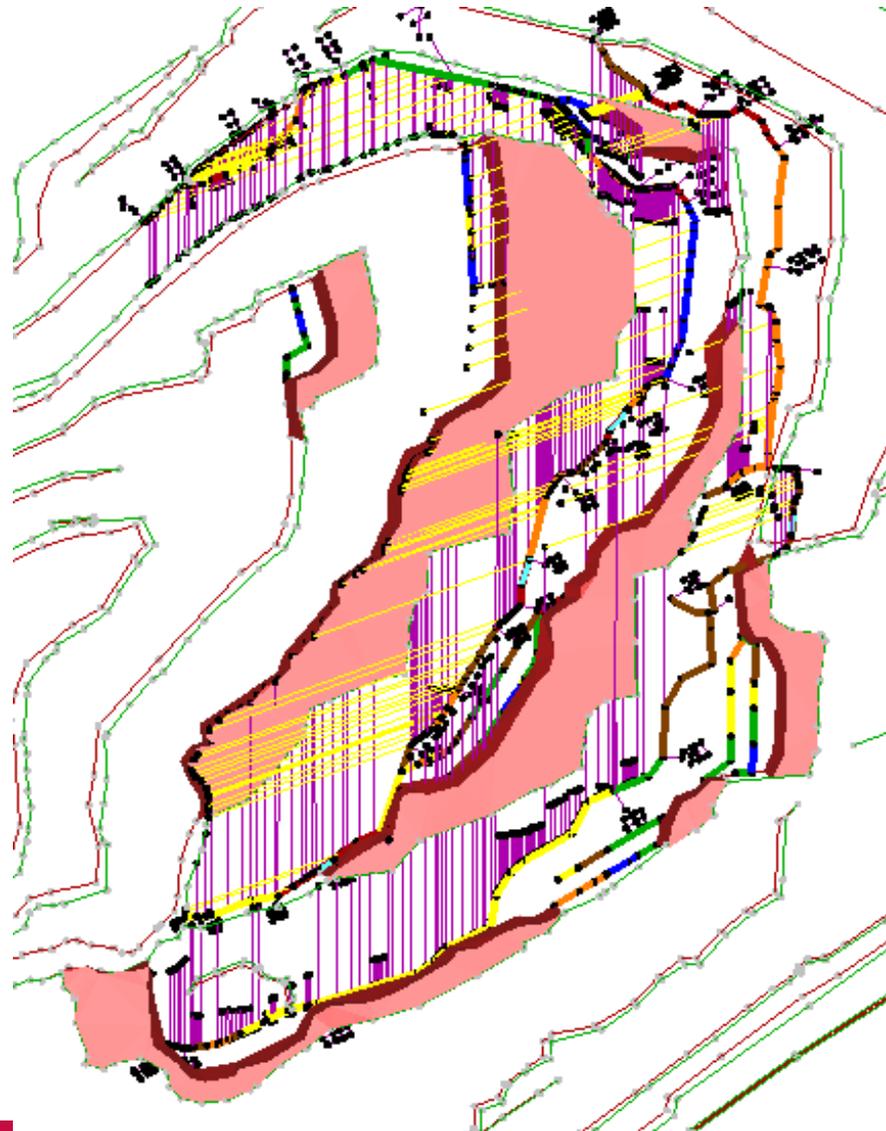
Contexte favorable



Contexte défavorable



Evolution des excavations + fracturation



Merci de votre attention