

MODULE ENPC
Conception des ouvrages souterrains

Tunnels en terrain rocheux

La pratique de l'explosif

Présentation du 06-11-2020



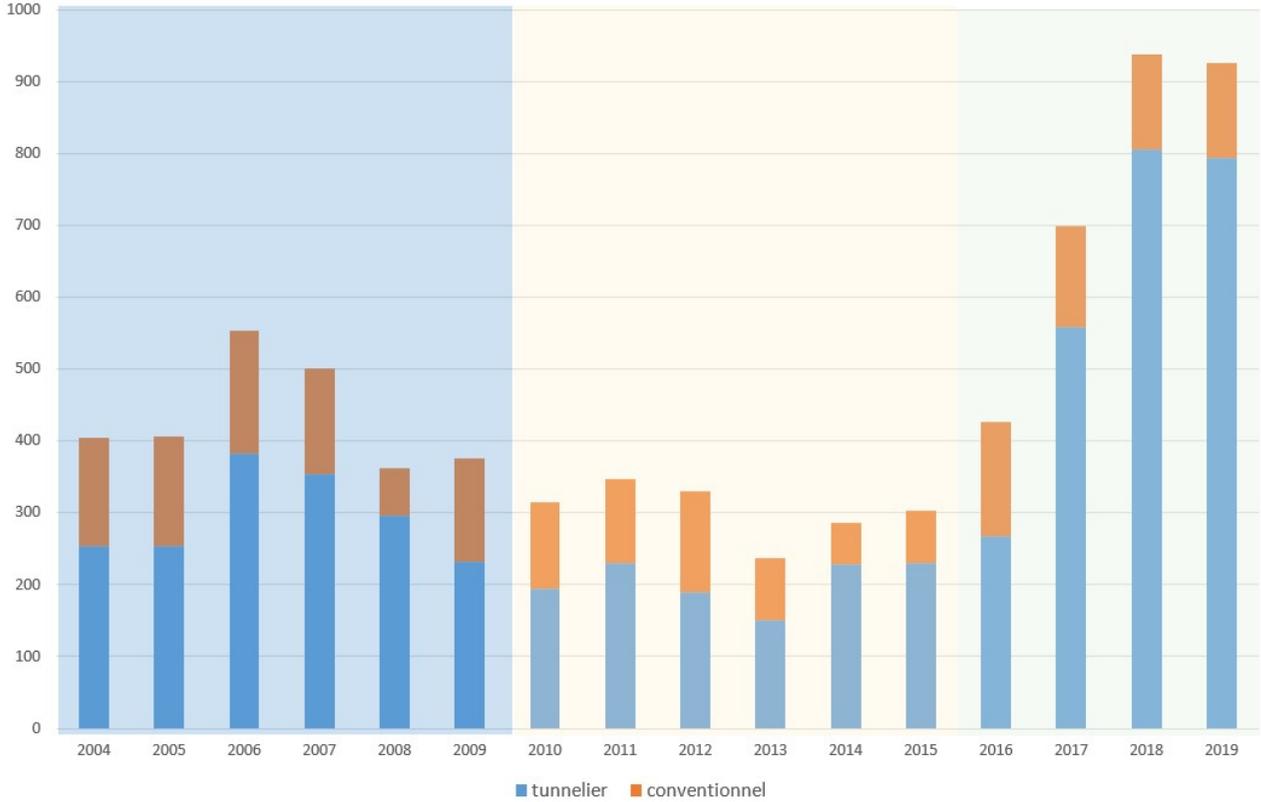
Préambule

Particularité des Travaux Souterrains

- Travail humain en milieu confiné :
pollution, bruit, pénibilité, danger, sécurité...
- Connaissance toujours imparfaite du milieu:
 - Terrains non homogènes, discontinus et anisotropes,
 - Aléas à ne pas sous-estimer: eau, gaz, radon
- Ouvrages souvent linéaire :
Notion de cycle
- PLACE DES T.S. DANS LES T.P. : 1 à 2 %
Chiffre d'affaire TP en France env. # 50 Mds d'€
Chiffre d'affaire TS en France en forte progression



Evolution de l'activité sur 15 ans



Différentes méthodes d'excavation



- Tunnelier



- Conventiennelle
(traditionnelle)



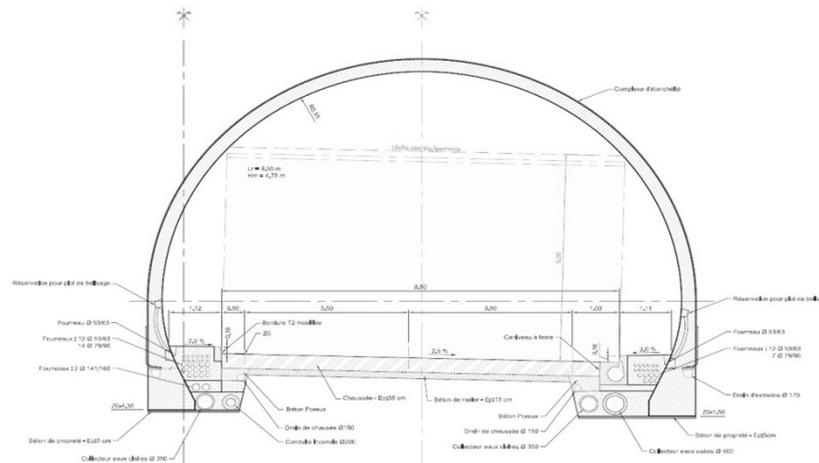
Méthode Conventionnelle ou Tunnelier

Critères techniques

- Le type de terrain
- La géométrie de l'ouvrage
- La réglementation

Critères économiques

- La longueur de l'ouvrage
- Le délai
- Le coût



Comparatif

Avantage par rapport au Tunnelier:

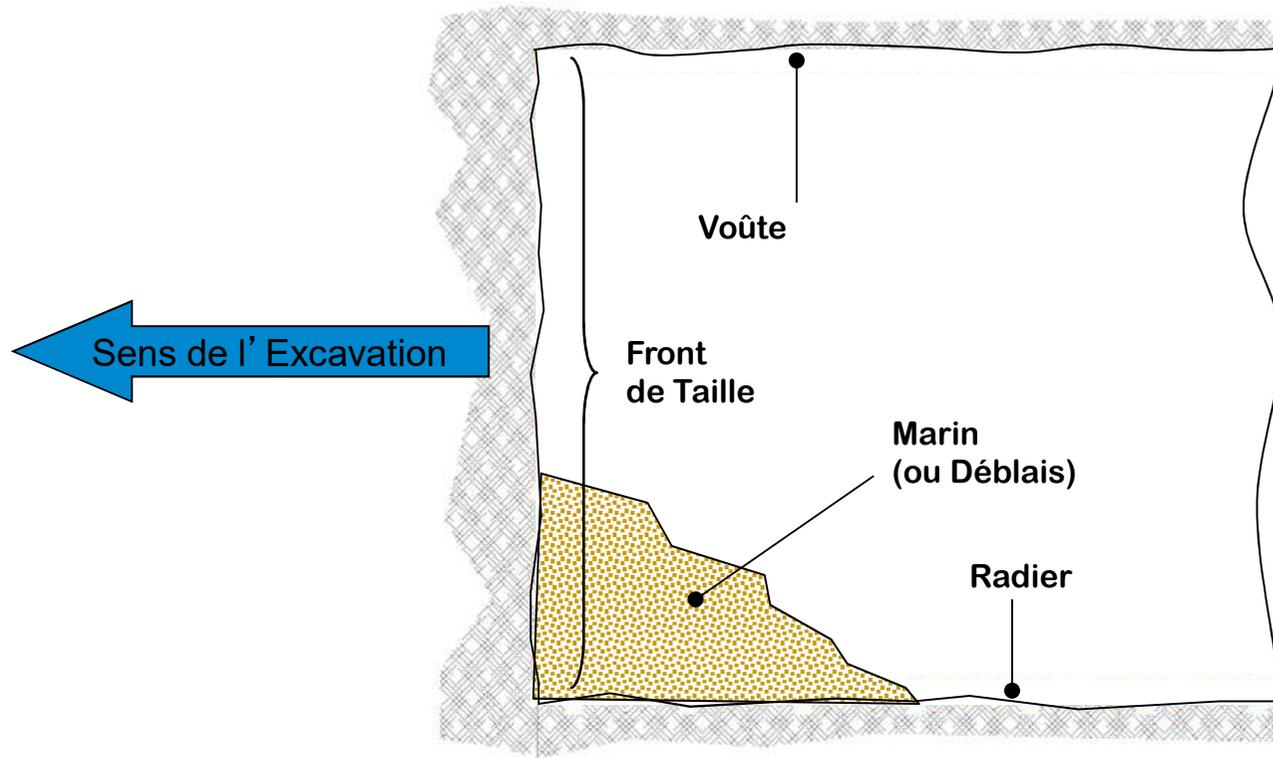
- Emploi de matériels standards et réutilisables indépendamment de la section du Tunnel
- Adaptable au Terrain
- Possibilité d'intervention au front

Inconvénients par rapport au Tunnelier:

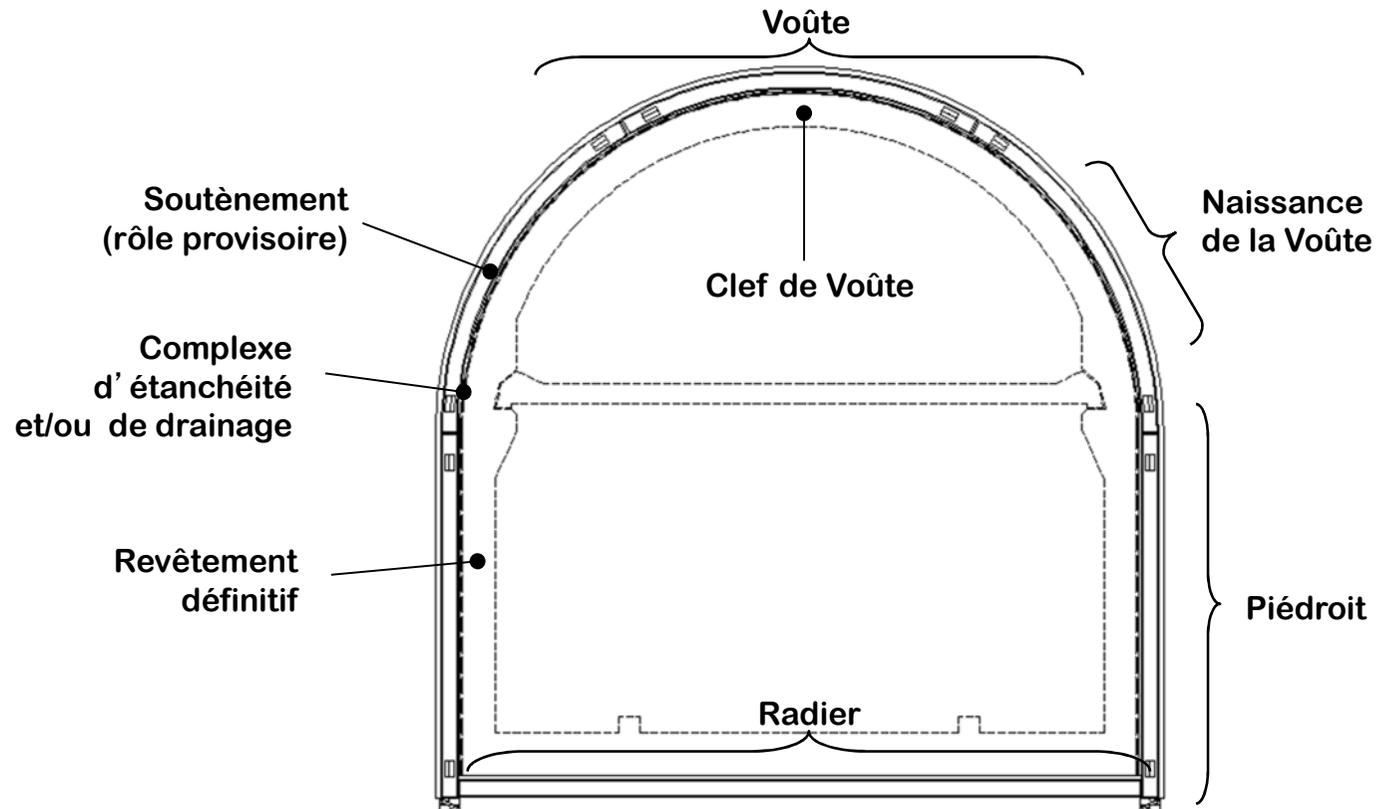
- Généralement moins rapide
- Plus exposé (chutes de blocs)
- Plus pénible pour le personnel
- Plus nuisant (bruits, vibrations)
- Problème de stockage des explosifs



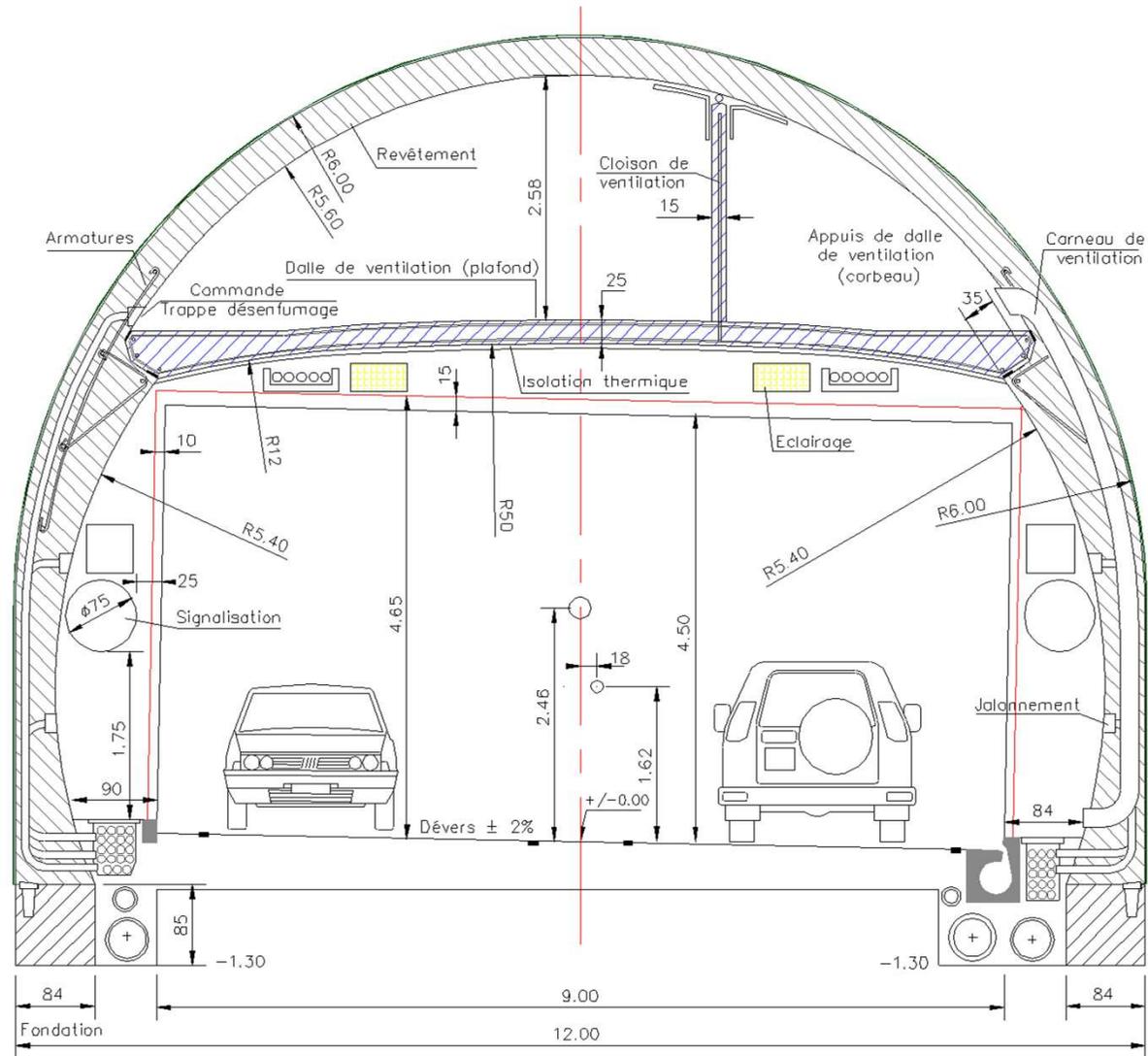
Vocabulaire



Vocabulaire



Coupe transversale d'un tunnel routier



Creusement à l'explosif

Cycle de production



Le cycle de production

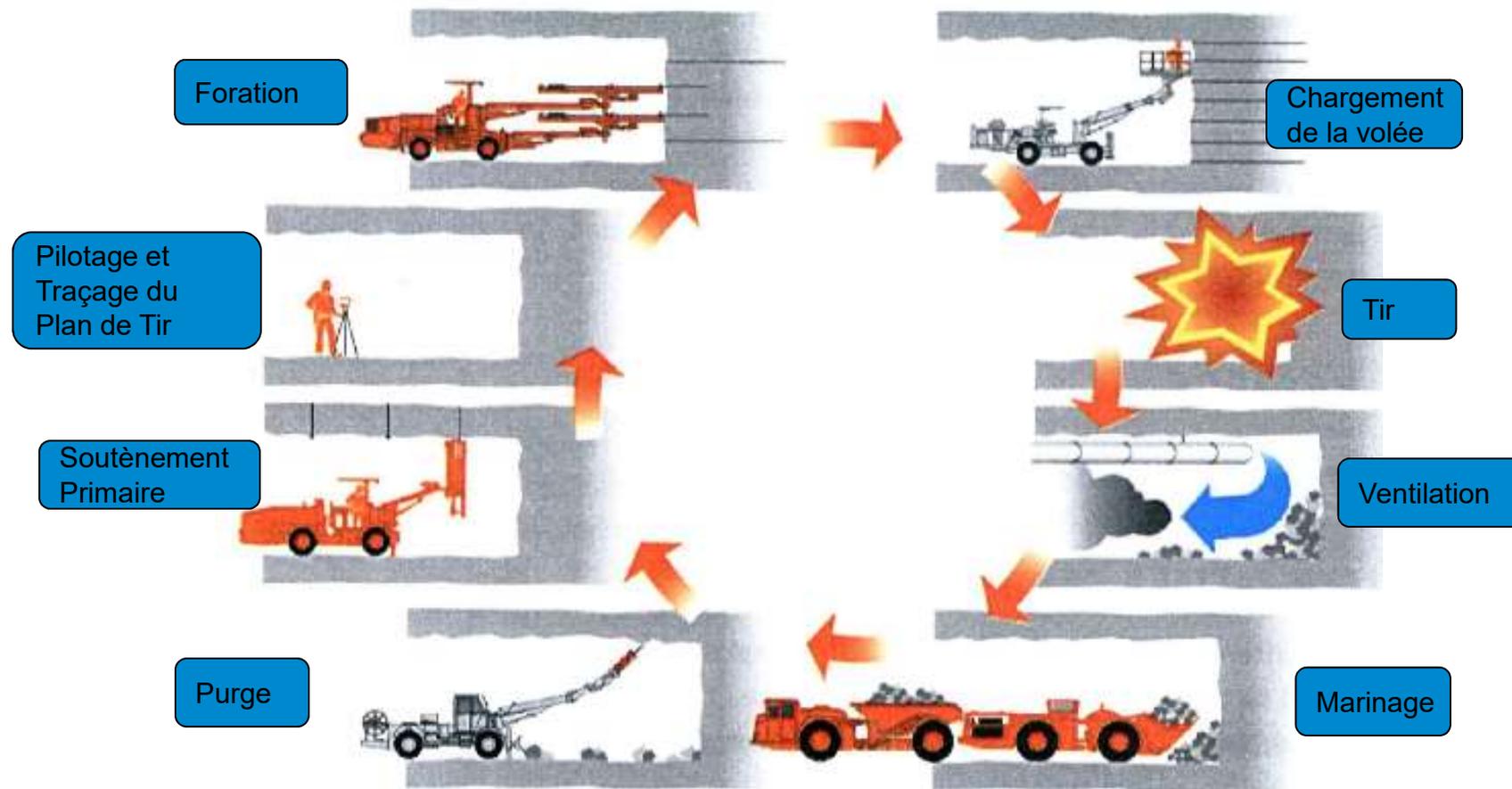


Illustration du cycle classique de creusement à l'explosif

Foration



Matériel de foration



Foration de la volée



Vue du poste de pilotage



CREUSEMENT A L'EXPLOSIF



MATERIEL DE FORATION – 1 bras



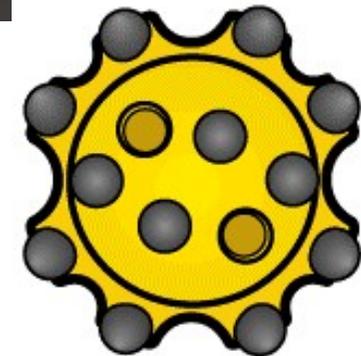
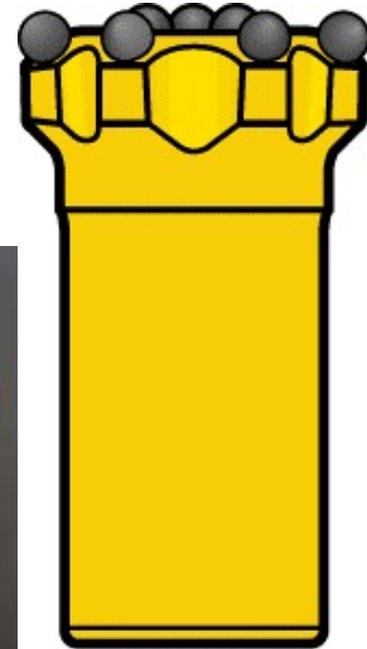
CREUSEMENT A L'EXPLOSIF

OUTILS DE FORATION – LE TAILLANT

Taillant en croix



Taillant à boutons



Chargement



CREUSEMENT A L'EXPLOSIF

NACELLE DE CHARGEMENT



Un front après chargement



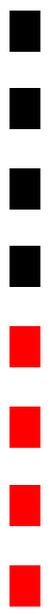
Un front après chargement



Tir de radier



Ventilation



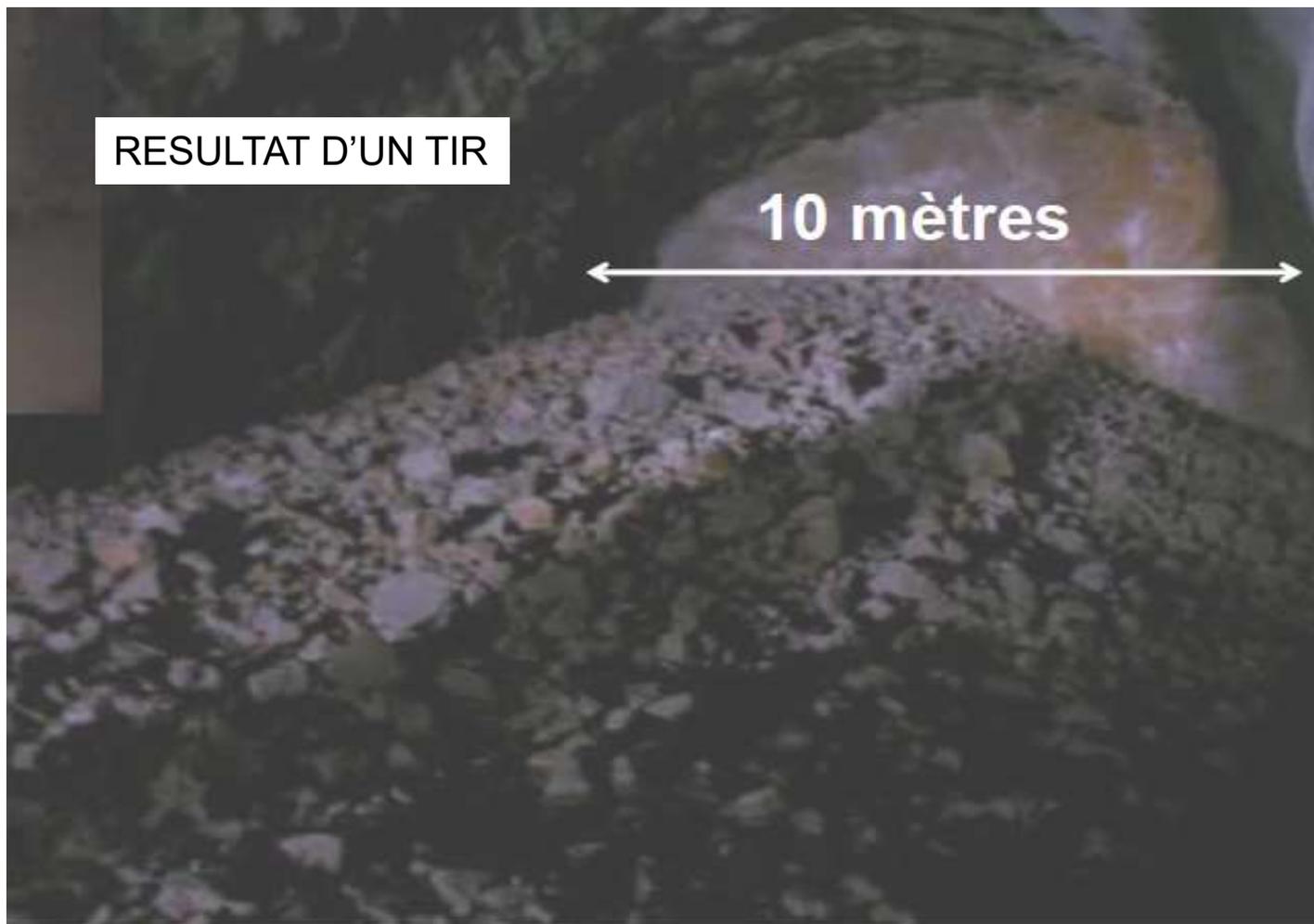
Ventilation



Evacuation du marin



CREUSEMENT A L'EXPLOSIF



Marinage



Arrosage du tas de marin pour lutter contre la poussière



MARINAGE



MARINAGE



ET TOMBEREAUX

CHARGEUSE SUR PNEUS

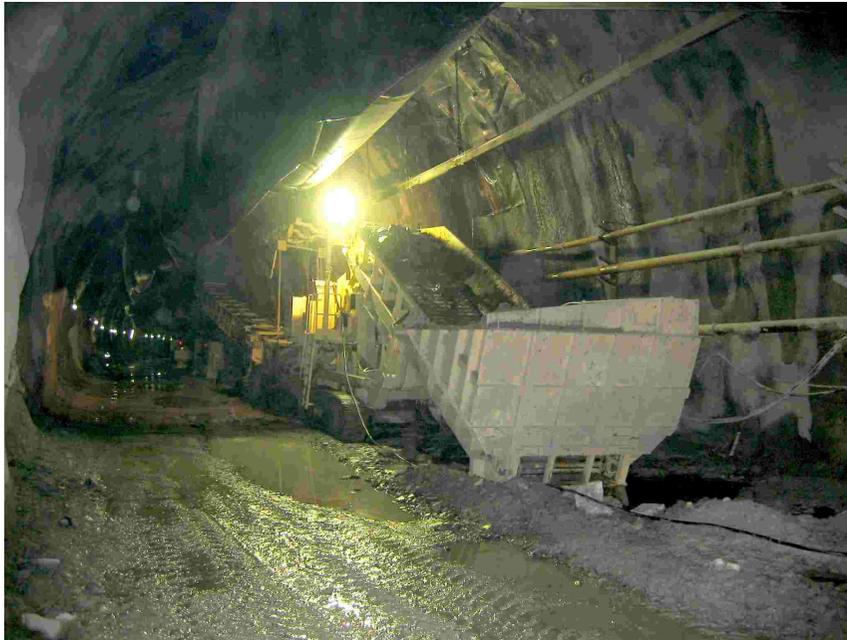
Marinage



PELLE BROYT ET TOMBÉREAU



Marinage avec tapis convoyeur



Le concasseur



Vue du tapis convoyeur





MARINAGE

Autres moyens possibles:

Convoyeur à bande, train et wagons etc...



Purge



MATERIEL DE PURGE



Contrôle topo et levé de front



Béton projeté



Boulonnage



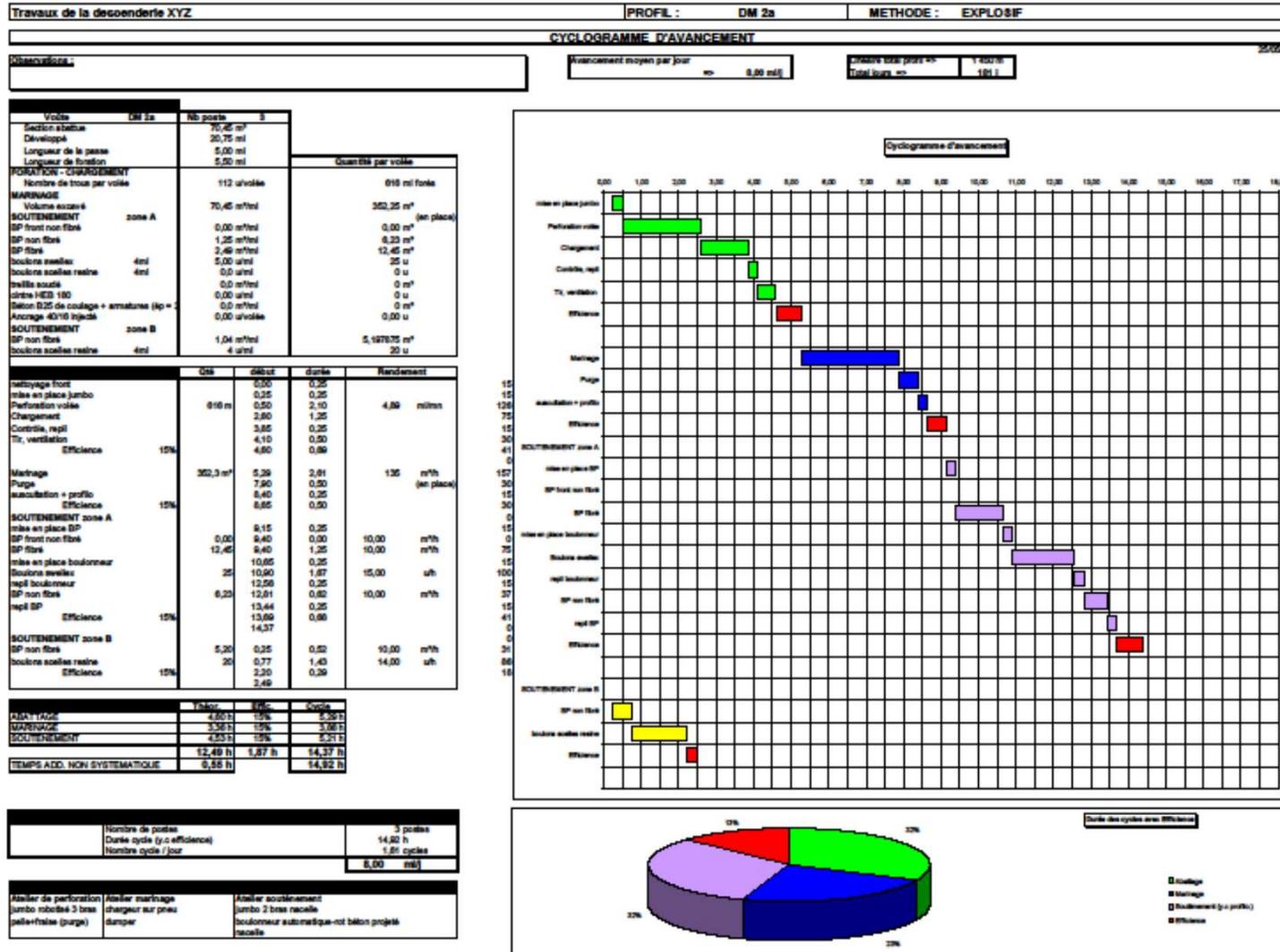
Pose de cintre



Nouveau cycle



Cyclogramme



Cyclogramme

CHAT BASE PLG NOT 12001 A-Annexe 3.pdf - Adobe Reader

Fichier Edition Affichage Fenêtre Aide

12 / 18 100%

Signer Commentaire

| Taches | Q | Rendement | Durée | | Durée y.c. Efficience | |
|-------------------------------------|---------------------|-------------------------|----------------|---------|-----------------------|---------|
| | | | Unitaire | Cumulée | Unitaire | Cumulée |
| EXCAVATION | 39,0 m ² | | | | | |
| Mise en place Robot de forage | 1 | - | 15 | 15 | 18 | 18 |
| Foration 122 t + 2 t | 335 m | | 121 | 136 | 143 | 160 |
| Nbr bras : 2 U | | | | | | |
| Foration trous de décharge | | 0,50 ml/min | 10,8 | | | |
| Foration | | 2,00 ml/min | 164,7 | | | |
| Recul | | 0,25 min/trou | 30,5 | | | |
| Changement trou | | 0,30 min/trou | 36,6 | | | |
| Repli Robot | 1 | - | 5 | 141 | 6 | 166 |
| Amenée nacelle | 1 | - | 5 | 146 | 6 | 172 |
| Chargement volée 3 hommes | 329 m | 3,00 min/trou | 142,00 | 288 | 167 | 339 |
| tps séquentiel 20 min | | | | | | |
| Repli Nacelle + camion | 1 | - | 5 | 293 | 6 | 345 |
| Préparation Tir et fermeture tunnel | | | 10 | 303 | 12 | 357 |
| Tir - ventilation | 1 | - | 30 | 333 | 35 | 392 |
| Marinage 1,5 Coef foisonnement | 146 m ³ | 70 m ³ /h | 125 | 459 | 147 | 540 |
| Purge périm sup 17,30 m | 82 m ² | 3,0 m ² /min | 27 | 486 | 32 | 572 |
| Nettoyage | | | 10 | 496 | 12 | 584 |
| Repli pelle | 1 | - | 5 | 501 | 6 | 589 |
| Relevé profilomètre + géologique | 1 | - | 10 | 511 | 12 | 601 |
| TOTAL EXCAVATION | | | 511 min | | 601 min | |
| SOUTÈNEMENT | | | | | | |
| Mise en place Robot béton projeté | 1 | - | 10 | 10 | 12 | 12 |
| Béton projeté Ep front 5 cm | 8,5 m ³ | 10 m ³ /h | 51 | 61 | 60 | 72 |
| Ep développée 10 cm | | | | | | |
| Coef pertes 1,35 | | | | | | |
| Repli Robot béton projeté | 1 | - | 5 | 66 | 6 | 77 |
| Amenée Jumbo | | | 10 | 76 | 12 | 89 |
| Foration longueur 2,50 ml | 6,8 U | 3,00 min/trou | 20 | 96 | 24 | 113 |
| Amené nacelle | | | 5 | 101 | | |
| Boulonnage | 6,8 U | 20,0 U/h | 20,25 | 121 | 24 | 137 |
| Déplacement nacelle (tps masqué) | 1 | - | 5 | 126 | 6 | 143 |
| TOTAL SOUTÈNEMENT | | | 126 min | | 143 min | |

Autre exemple de cycle

| Taches | Unités | Qté | Rendement | Durée (min) | | Durée yo efficience | | Réalisé | | Delta |
|---|--------|-----|-------------|-------------|--------------|---------------------|--------------|----------|--------------|---------------|
| | | | | Unitaire | Cumulée | Unitaire | Cumulée | Unitaire | Cumulée | |
| EXCAVATION : | | | | | | | | | | |
| Mise en place du robot de foration | u | 1 | - | 15 | 15 | 18 | 18 | 13 | 13 | -26,33% |
| Foration de la volée 156 trous * 5,80m | ml | 905 | 2 ml/min | 190 | 205 | 224 | 241 | 292 | 305 | +30,83% |
| Repli du robot et amenée Morse + plateforme | u | 1 | - | 5 | 210 | 6 | 247 | 5 | 310 | -15,00% |
| Chargement de la volée | trous | 156 | 3min/trou/Ω | 94 | 304 | 111 | 358 | 132 | 442 | +19,36% |
| Repli nacelle + camion | u | 1 | - | 10 | 314 | 12 | 369 | 17 | 459 | +44,50% |
| Tir et ventilation | u | 1 | - | 30 | 344 | 35 | 405 | 27 | 486 | -23,50% |
| Marinage (Broyt) 85 m² * 5,80m = 493 m³ * 1,5 = | m³ | 740 | 250 m³/h | 178 | 522 | 209 | 614 | 247 | 733 | +18,22% |
| Amenée-repli de la pelle mécanique | u | 0 | - | 0 | 522 | 0 | 614 | 0 | 733 | |
| Purge du front 85 m² + 24,3m² * 5,80 m = | m² | 226 | 5 m²/min | 45 | 567 | 53 | 667 | 146 | 879 | +174,56% |
| Nettoyage des relevages (curage avant foration) | u | 1 | - | 0 | 567 | 0 | 667 | 83 | 962 | |
| Levée de la section et relevé de front | u | 1 | - | 15 | 582 | 18 | 684 | 27 | 989 | +53,00% |
| TOTAL EXCAVATION | | | | | 582 | | 684 | | 989 | + 44 % |
| SOUTÈNEMENT : | | | | | | | | | | |
| Mise en place Robot BP | u | 0 | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 5 | |
| Béton projeté (85 m2+24,3m²*5,80 m)*0,08*1,25 = | m³ | 23 | 15 m³/h | 90 | 90 | 106 | 106 | 133 | 138 | +25,06% |
| Nettoyage et repli Robot BP | u | 1 | - | 5 | 95 | 6 | 112 | 20 | 158 | +240,00% |
| Mise en place boulonneur | u | 1 | - | 10 | 105 | 12 | 124 | 12 | 170 | +2,00% |
| Boulonnage Swellex | boul. | 25 | 15 boul./h | 100 | 205 | 118 | 242 | 142 | 312 | +20,70% |
| Repli boulonneuse | u | 1 | - | 5 | 210 | 6 | 248 | 6 | 318 | +2,00% |
| TOTAL SOUTÈNEMENT | | | | | 210 | | 248 | | 318 | + 28 % |
| TOTAL CYCLE | | | | | 792 | | 932 | | 1307 | |
| TOTAL CYCLE (h) | | | | | 13h12 | | 15h32 | | 21h47 | + 40 % |

Différents types de profils d'excavation

Excavation en demi-section – excavation de la demi-section inférieure (stross)



Différents types de profils d'excavation

Excavation en pleine section



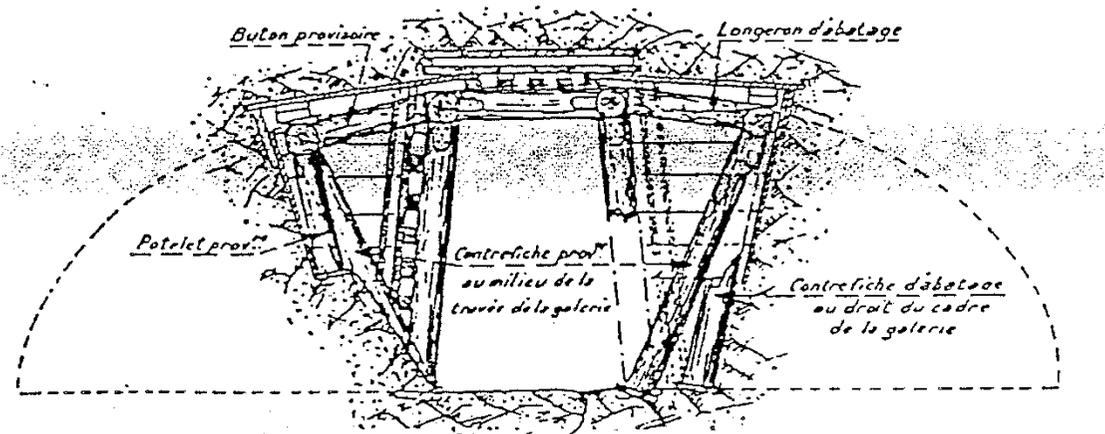
Exemple excavation en demi section



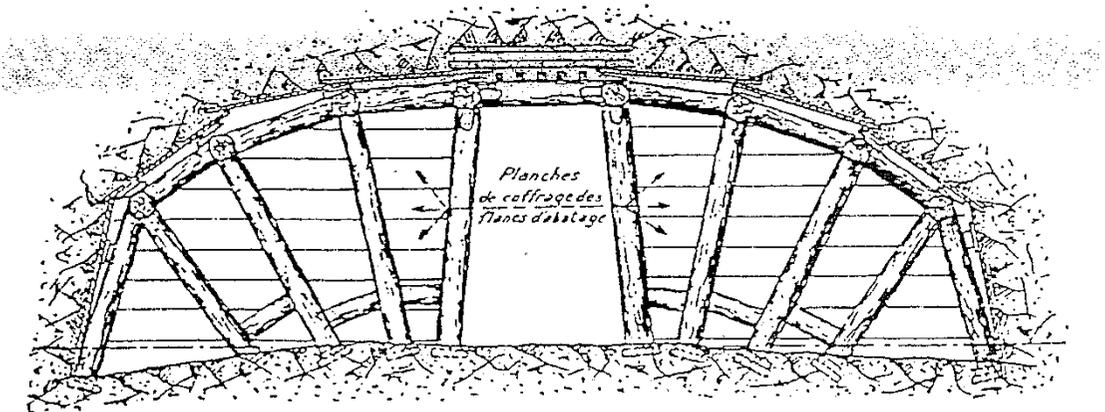
Technique d'Excavation : Section Divisée

■ Techniques de l'Abattage

Galerie de Faîte



Abatages Latéraux



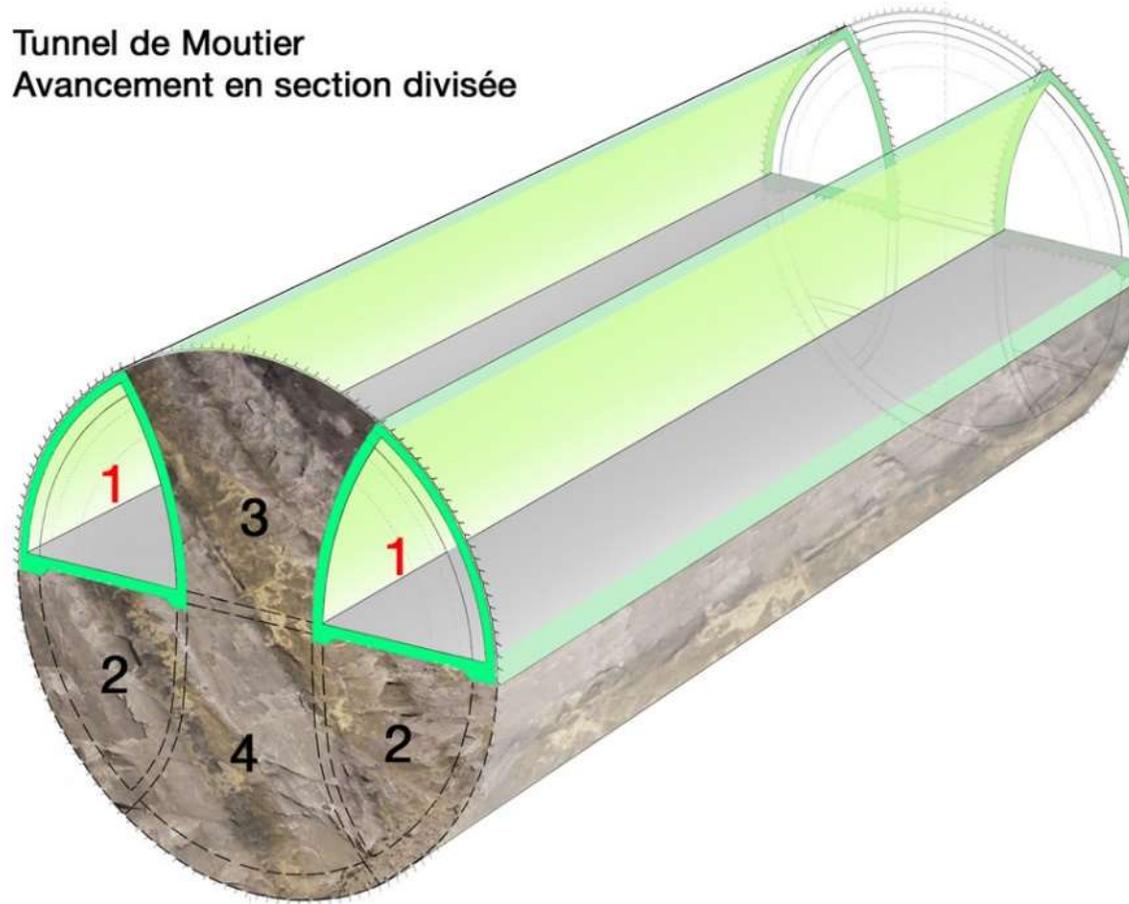
Technique d'Excavation : Section Divisée



Excavation du Tunnel Maurice Lemaire (1934)

Technique d'Excavation : Section Divisée

Tunnel de Moutier
Avancement en section divisée



SECTIONS DIVISEES



SECTIONS DIVISEES



SECTIONS DIVISEES



Excavation du stross à la pelle



Le fonctionnement du tir



Le plan de tir

- Énergie
- Bloquométrie
- Qualité de la découpe
- Limitation des vibrations
- Optimisation de la durée de foration

Fonctionnement du tir



Tir de carrière: la roche est expulsée vers le vide

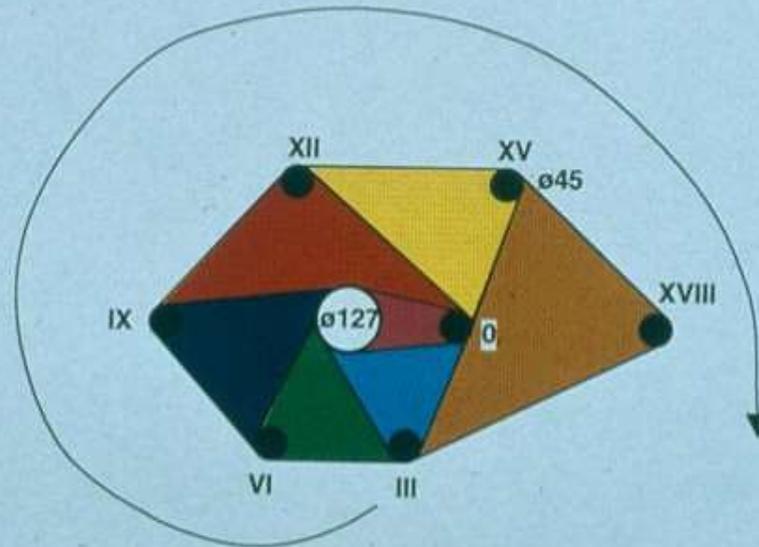


Créer de la surface libre



Le Bouchon

Principe du bouchon à trous parallèles



Un plan de Tir

Atlas Copco

Plan forage

11/20/06 11:46:46
29 DM2 585 57 48.dpc

Information sur le projet

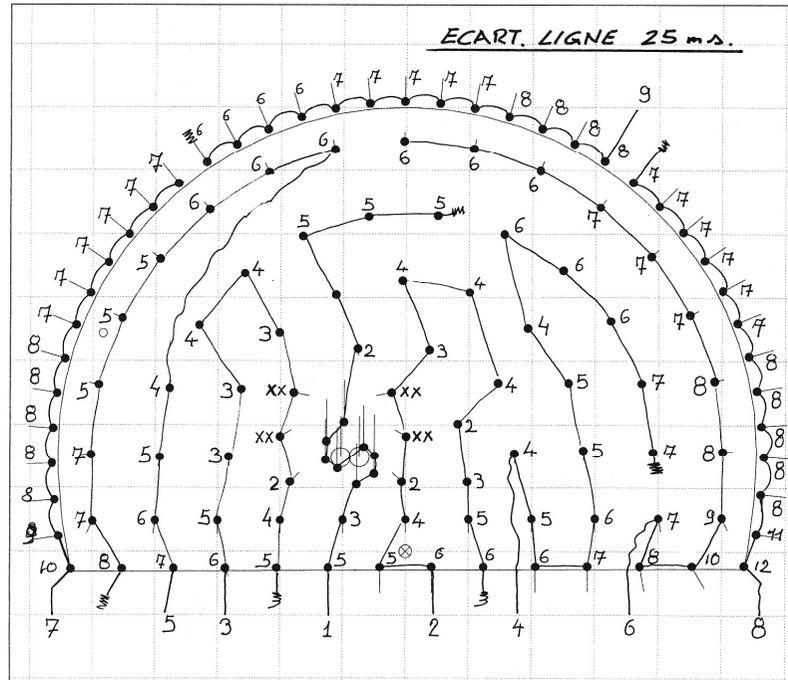
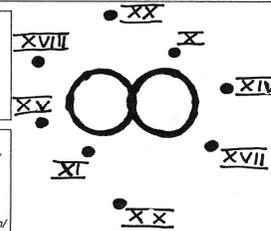
Site de DESCENDERIE DE MODANE Planif: PERCIE
 Avant: Rem: N° 29 DM2 110 585 51
 Date: 20/11/06

Données sur le tir

| | | | |
|-----------------------|---------|-----------------------|--------|
| Section: | 69,1 m2 | Trous non chargés: | 2 |
| Profondeur trou: | 5,85 m | Echelle: | 1 : 45 |
| Diamètre de trou: | 51,0 mm | Echelle trou forage: | 2 : 1 |
| Nbre tot trous charg: | 118 | Distance quadrillage: | 1,0 m |

Nombre de trous de forage...

| | | | |
|------------------|------------|-----------------------|------------|
| Mine auxiliaire: | 58 /51 mm/ | Bouchon: | 8 /51 mm/ |
| Contour: | 37 /51 mm/ | Nbre tot trous charg: | 118 |
| 2ième contour: | 15 /51 mm/ | | |
| Fond: | - | Trous non chargés: | 2 /127 mm/ |



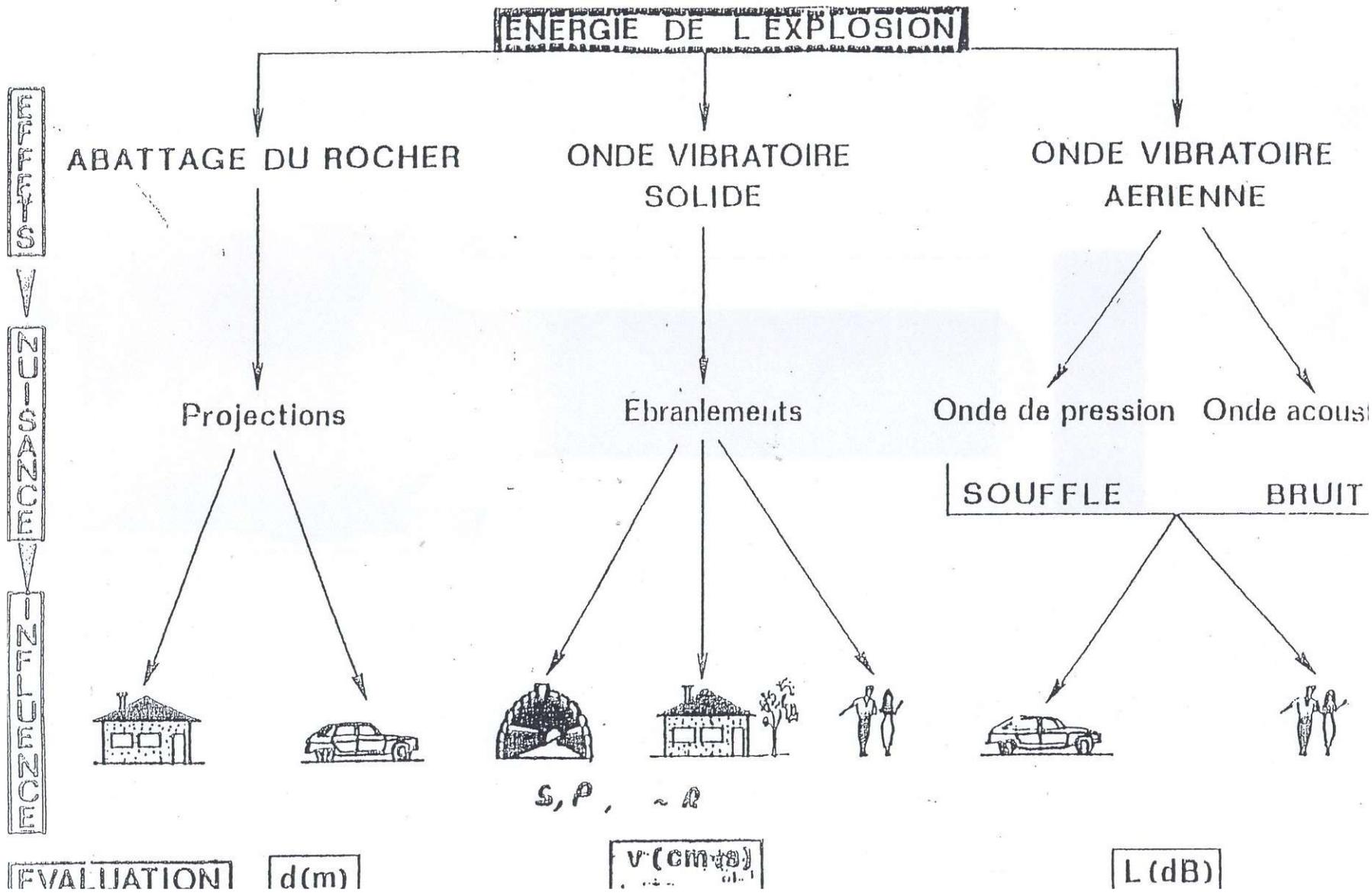
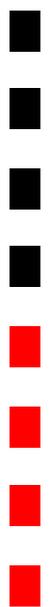
| PLAN DE TIR | N°13 | DM2 | Maille 1m | Long 5,60 m | Tir séquentiel 33 ms lignes coniques | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---------------|---------|-----------|------------------------------|--------------------------------------|-------------------|---------------|----------|-----------|-------|-----------------------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|----|------|
| Tir séquentiel | 33 ms | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Nombre de trous | 137 fourneaux | | | Longueur forée | 5,60 m | longueur perforée | 767,20 m | | | | | | | | | | | | | | |
| Perforation | 48 mm | | | Surlongueur du bouchon 20 cm | | | | | 1,4 m | | | | | | | | | | | | |
| Bouchons | 127 mm | 2 trous | | Longueur volée | 5,60 m | longueur perforée | 11,20 m | | | | | | | | | | | | | | |
| Explosif | Eurodyn 2000 | | | Diam | 35 mm | 0,500 kg | 38 cm de long | | 453,00 kg | | | | | | | | | | | | |
| | Eurodyn 2000 | | | | 25 mm | 0,250 kg | 38 cm de long | | 91,00 kg | | | | | | | | | | | | |
| Cordeau | DYNACORD | | | | 40 gr | | 212,80 m | | | | | | | | | | | | | | |
| Détonateurs | Davey Bicford | | | Micro-retard et retard HI | 1,1 Ohms | 6,0 m + 1,0 m | | 137 Déto | | | | | | | | | | | | | |
| Ligne | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | nb détonateurs | Ligne | | | | | | | | | |
| MICRO RETARD | | | | | | | | | | | MICRO RETARD | | | | | | | | | | |
| XIII | 1 | | | | | | | | | | 1 | XIII | | | | | | | | | |
| XV | 1 | | | | | | | | | | 1 | XV | | | | | | | | | |
| XVI | 1 | | | | | | | | | | 1 | XVI | | | | | | | | | |
| XVII | 1 | | | | | | | | | | 1 | XVII | | | | | | | | | |
| XVIII | 1 | | | | | | | | | | 1 | XVIII | | | | | | | | | |
| XIX | 1 | | | | | | | | | | 1 | XIX | | | | | | | | | |
| XX | 1 | | | | | | | | | | 1 | XX | | | | | | | | | |
| 2 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | 3 | 2 | | | | | | | | | |
| 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | | | | | | 8 | 3 | | | | | | | | | |
| 4 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | | | | 13 | 4 | | | | | | | | | |
| 5 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | | | 15 | 5 | | | | | | | | | |
| 6 | 1 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | | 17 | 6 | | | | | | | | | |
| 7 | | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | | 14 | 7 | | | | | | | | | |
| 8 | | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | | 12 | 8 | | | | | | | | | |
| 9 | | | 1 | | 1 | 5 | 2 | 2 | 7 | 5 | 23 | 9 | | | | | | | | | |
| 10 | | | 3 | 4 | | | 3 | 5 | | 5 | 24 | 10 | | | | | | | | | |
| 11 | | | | | | | 1 | | | | 1 | 11 | | | | | | | | | |
| 12 | | | | | | | | | | | 0 | 12 | | | | | | | | | |
| Par ligne | 15 | 14 | 15 | 14 | 15 | 14 | 15 | 14 | 11 | 10 | 137 Detos | | | | | | | | | | |
| Longueur des détonateurs 6 m + 1 m résistance unitaire par détonateur de | | | | | | | | | | | 1,10 | Ohms | | | | | | | | | |
| Résistance détos | | | | | | | | | | | 16,5 | 15,4 | 16,5 | 15,4 | 16,5 | 15,4 | 16,5 | 15,4 | 12,1 | 11 | Ohms |
| Résistance de la ligne 51/100 = 0,17 /m | | | | | | | | | | | Longueur de ligne 10m de 51/100 = | | 1,70 | Ohms | | | | | | | |
| Résistance par ligne unitaire de la ligne principale pour 120 m + planchette = | | | | | | | | | | | | | 4,70 | Ohms | | | | | | | |
| Total | 22,90 | 21,80 | 22,90 | 21,80 | 22,90 | 21,80 | 22,90 | 21,80 | 18,50 | 17,40 | Ohms | | | | | | | | | | |
| RESISTANCE LIMITE PAR LIGNE = 24 Ohms | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Le poste de tir doit être distant de 120 m du tir

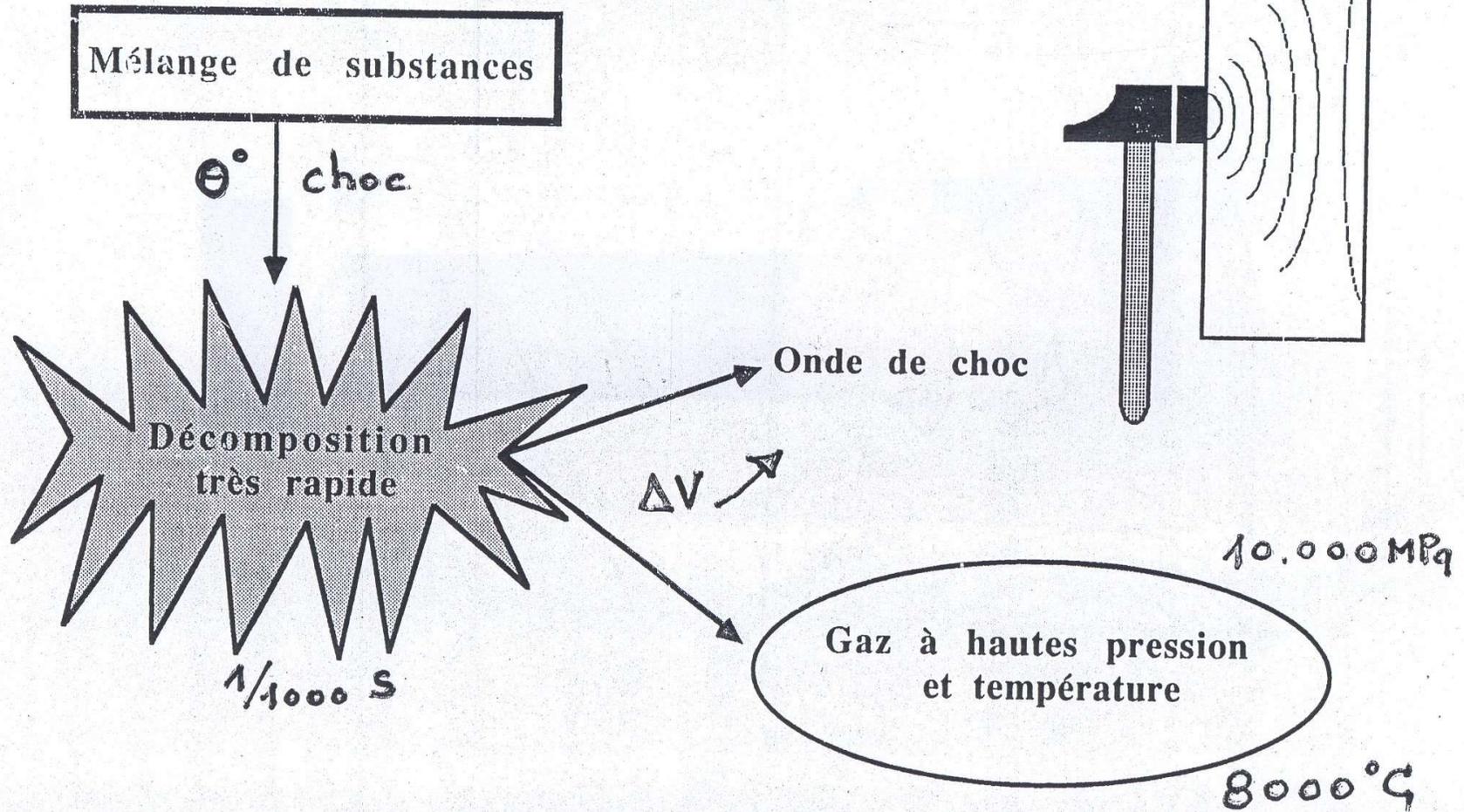
La longueur moyenne forée est de 5,30 m

| | Nb de trous | Cartouches | P unitaire | L cartouche | Cartouches | P unitaire | L cartouche | L fourneau | L chargée | L vide | Charge | Sous total |
|----------------------|-------------|---------------|--------------------|-------------|------------|------------|-------------|------------|-----------|--------|---------|------------|
| Bouchon | 8 | 7 | 0,500 | 38 | 5 | 0,250 | 38 | 530 | 456 | 74 | 4,75 kg | 38,00 kg |
| Abattage | 86 | 9 | 0,500 | 38 | 2 | 0,250 | 38 | 530 | 418 | 112 | 5,00 kg | 430,00 kg |
| Découpage | 38 | 2 | 0,500 | 38 | 4 | 0,250 | 38 | 530 | | | 2,00 kg | 76,00 kg |
| Cordeau détonant | 38 | | | | | | | 530 | | | 0,20 kg | 7,60 kg |
| Surface | 70,70 | m² profondeur | | 5,60 | m | | volume | | 395,92 | m3 | | 551,60 kg |
| Charge unitaire maxi | 20,00 kg | | Charge instantanée | | 4,75 kg | | Densité | | 1,39 kg | | | |

| | | | | | | | | | | | | |
|--------------|--------------------------|--|--|--------|--|--|------------------------|--|--|--|--|--|
| Bouchons | [Diagramme de bouchons] | | | | | | | | | | | |
| 8 fourneaux | Longueur précharge | | | 4,56 m | 7 cartouches de 500 gr et 5 de 250 gr | | | | | | | |
| Abattages | [Diagramme d'abattages] | | | | | | | | | | | |
| 86 fourneaux | Longueur précharge | | | 4,18 m | 9 cartouches de 500 gr et 2 cartouches de 250 gr | | | | | | | |
| Découpage | [Diagramme de découpage] | | | | | | | | | | | |
| 38 fourneaux | Longueur de la précharge | | | 5,20 | 2 cartouches de 540 gr | | 4 cartouches de 250 gr | | | | | |



DEFINITION D'UN EXPLOSIF

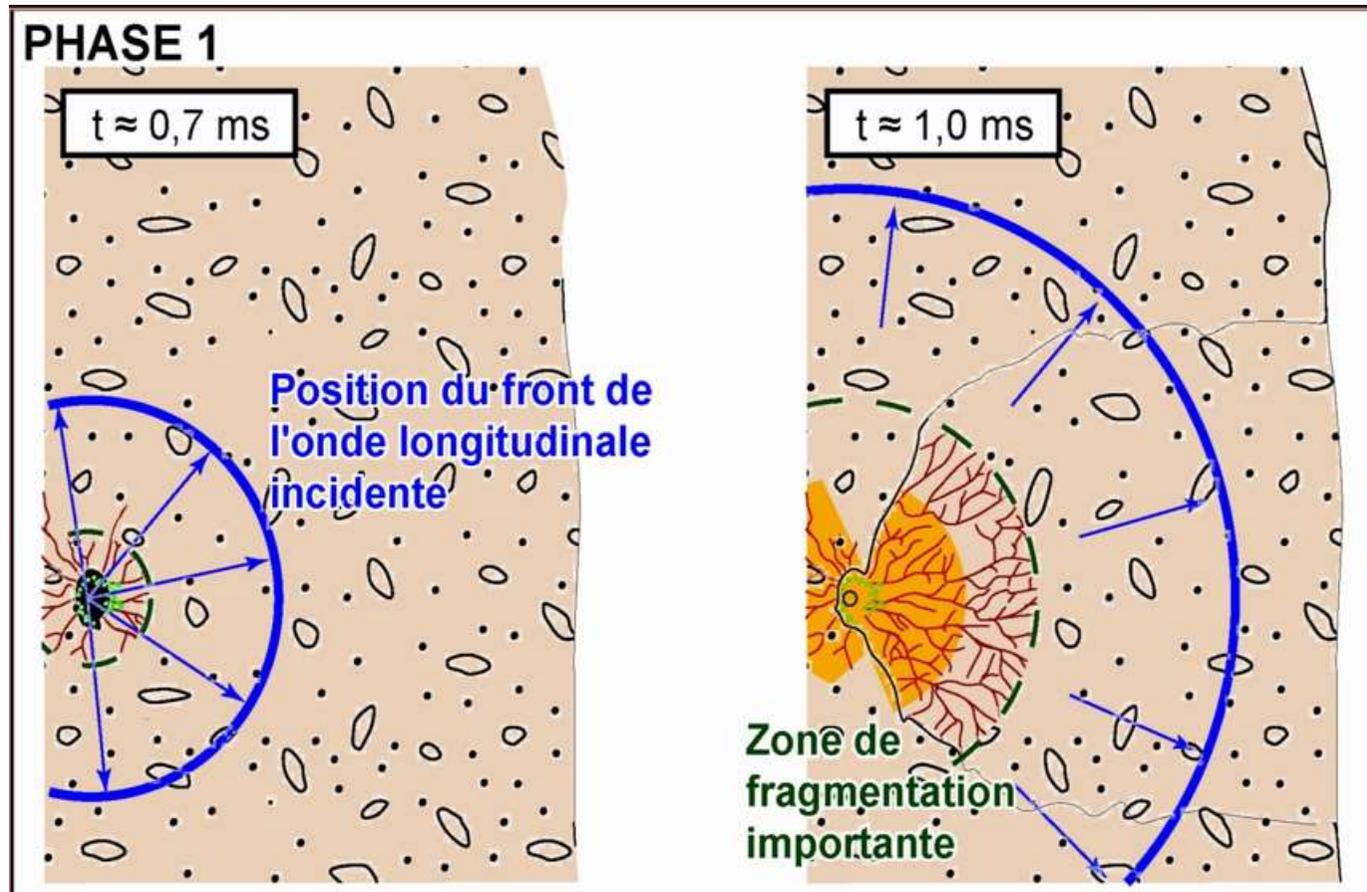


Caractéristiques des explosifs

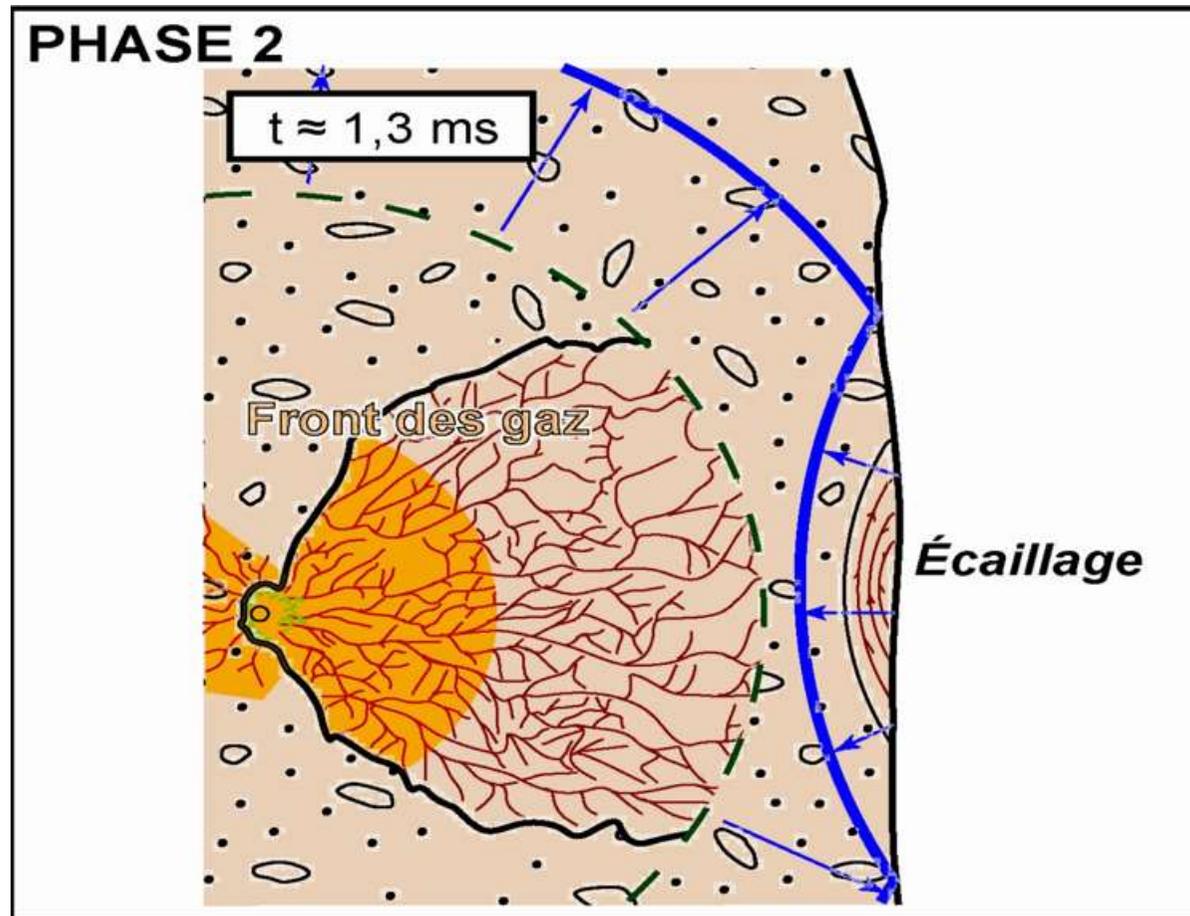
- **Brisance:** σ compression et cisaillement
- **Puissance:** énergie développée en Kj ou Kcal
- **Sensibilité:** pression onde de choc en kbar
 - (de 60 kbar nitrate fioul à 1 kbar dynamite)
 - Vitesse de détonation: 2500 à 7500 m/s
 - Coefficient self excitation : 0 à 10 cm



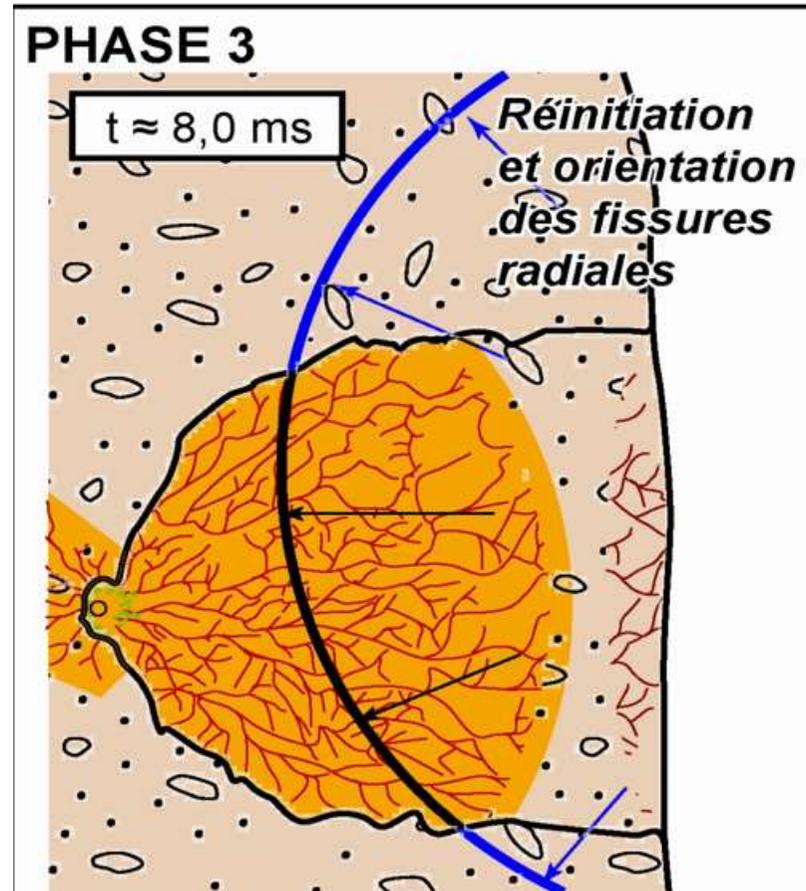
Fonctionnement de l'explosif



Fonctionnement de l'explosif



Fonctionnement de l'explosif



Fonctionnement de l'explosif

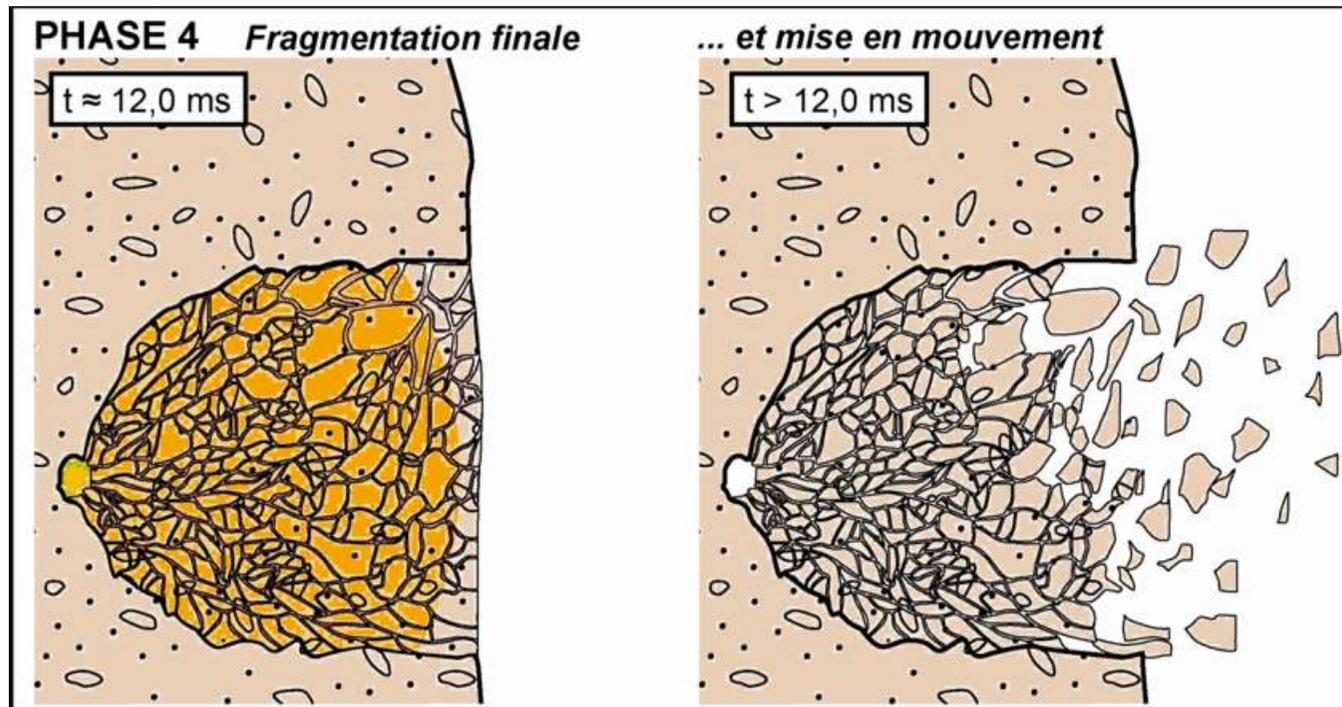


Schéma des évènements à la suite de la détonation NITRAM

- Durée de la détonation 5,30 m 0,000 97 secondes
- Pression 10,32 Gpa
- Onde de choc proportionnelle à Q
- Gaz 940 litre / kg
- Pour 5,30 m et 85 m² 910 m³

- Phase 1 0,7 mili secondes
- Phase 2 1,3 mili secondes
- Phase 3 4,8 mili secondes
- Phase 4 12 mili secondes



Etude des vibrations engendrées par un tir à l'explosif

- Analyse des contraintes du site
- Évaluation des seuils par ouvrage
- Essai de tir confiné préalable/loi du site
- Sujétions induites pour un tir à l'explosif
- Dispositions constructives
- Impact des travaux à l'explosif
- Coordinateur sécurité conception



DIFFERENTS TYPES D'OSCILLATION

- TRANSITOIRE



- Isolée

- explosifs

- Répétée

- fonçage
- trépannage
- compactage dynamique

- CONTINUE OU ENTRETENUE



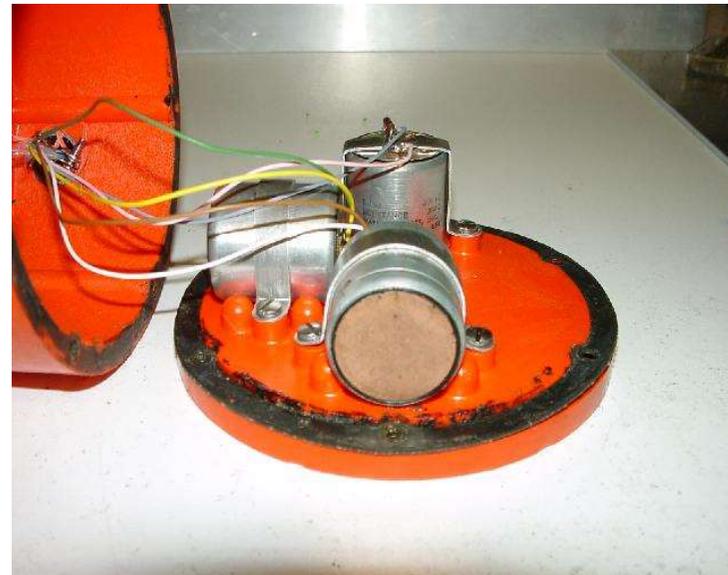
- Brise roche
- Compacteur
- Fonçage, vibrofonçage
- Machine foreuse



Capteur et valise d'enregistrement des vibrations

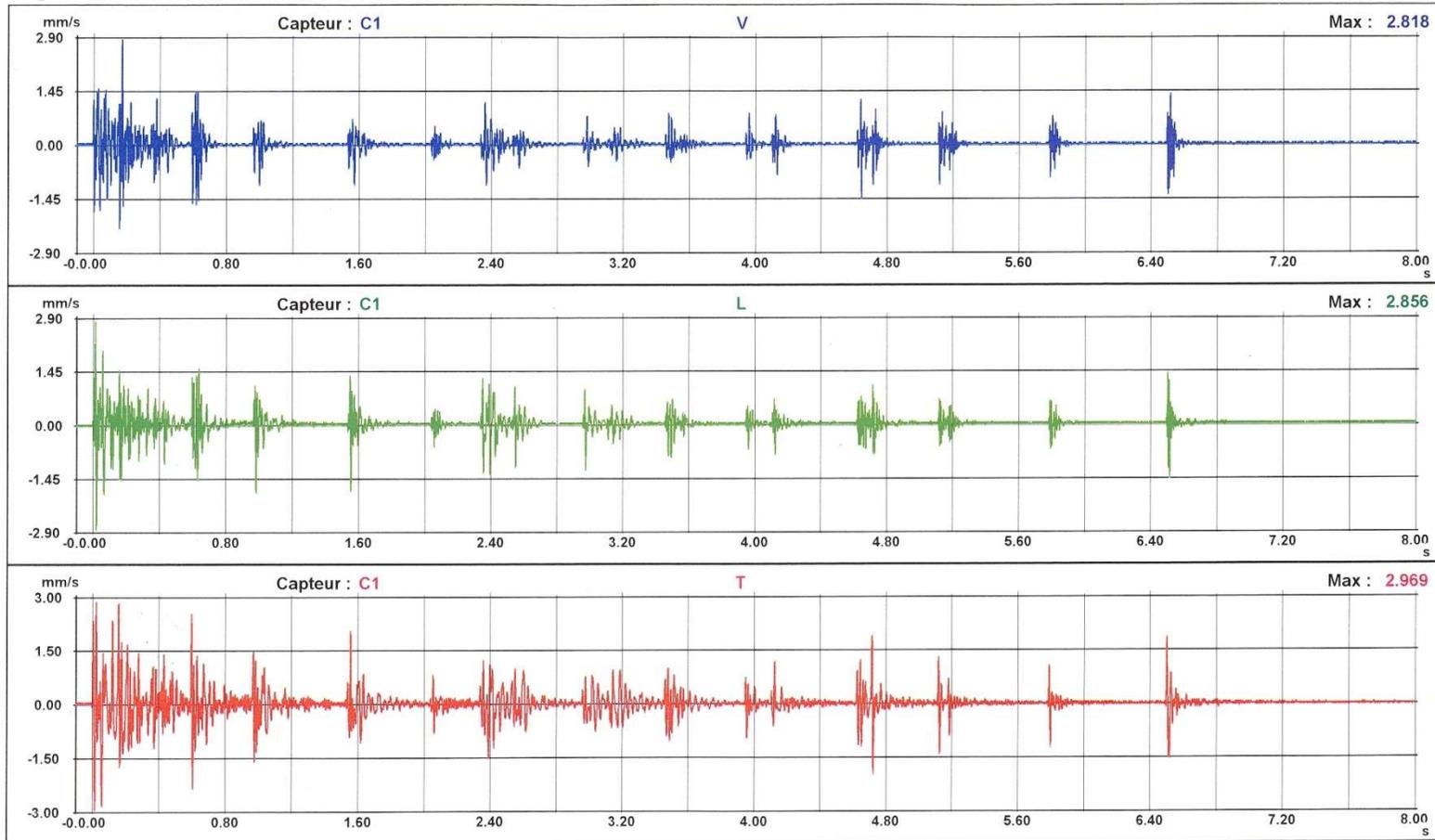


Le signal enregistré sur la centrale d'acquisition correspond à la variation de la vitesse en fonction du temps.
C'est un signal complexe multifréquentiel



Trace temps

Signal brut



Loi de CHAPOT

$$V = K \left[\frac{D}{\sqrt{Q}} \right]^{-\alpha}$$

V = Vitesse maximale en mm/s

D = Distance en mètre

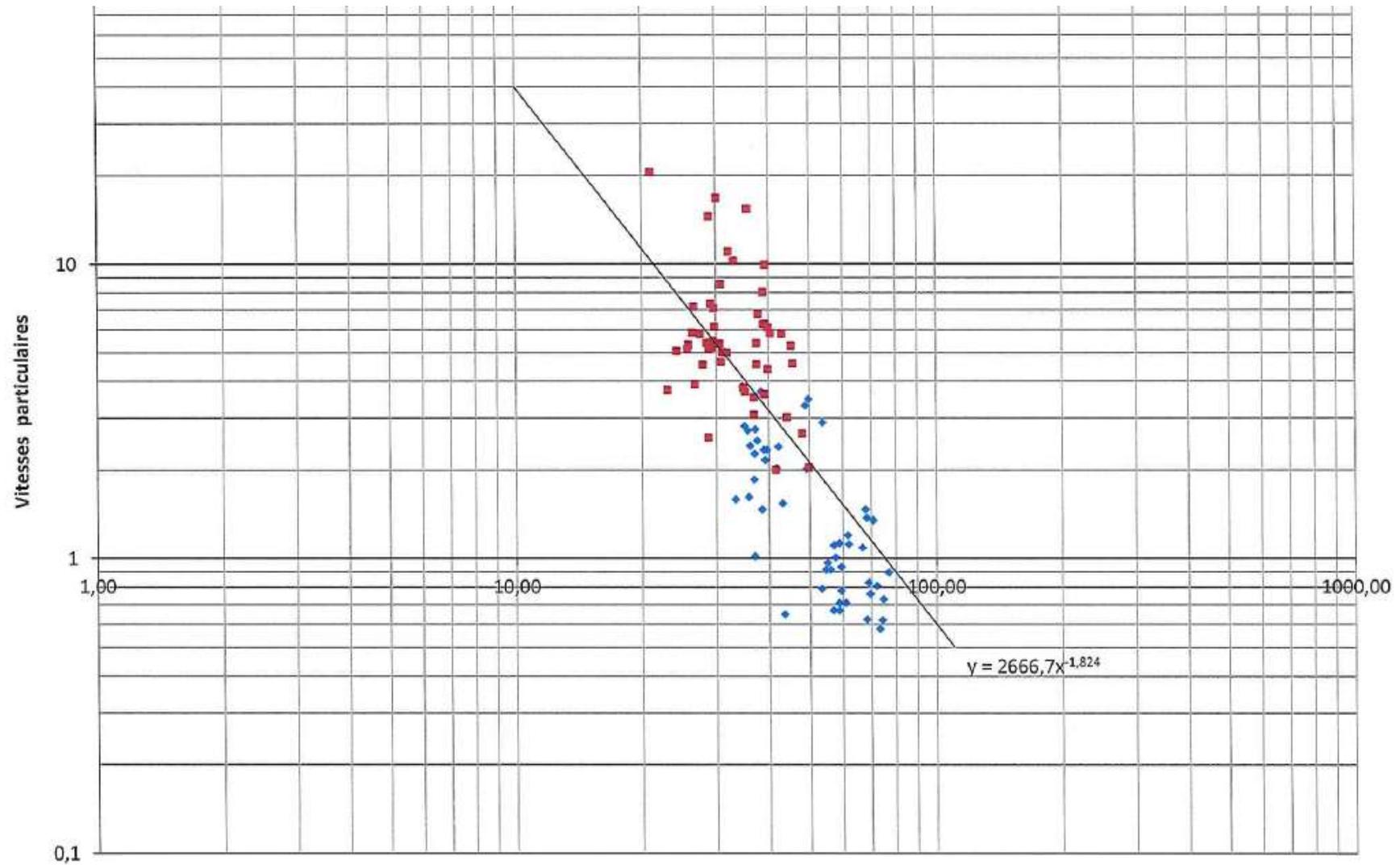
Q = Charge unitaire en kg

K = coefficient de site

A = Coefficient d'amortissement, par défaut prendre 1,8



Loi d'amortissement



Les explosifs

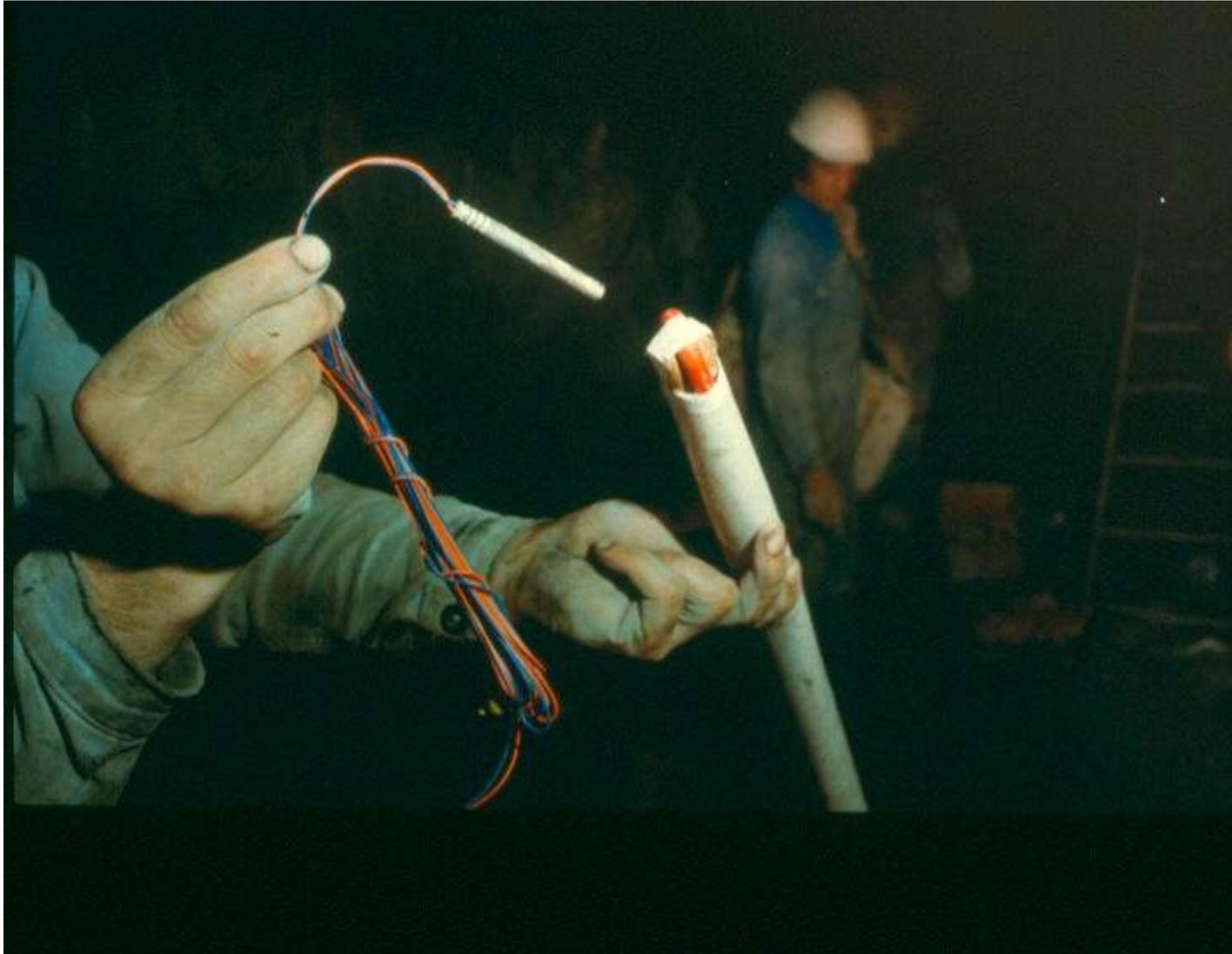
- Les détonateurs
- Dynamites / Emulsions
- Encartouchés / Pompables

Explosifs en Travaux Souterrains

- Gommages/dynamites plastiques (30-90% nitro encartouchées Ø 25 à 40 mm)
- Nitrates (80-85% nitrate ammonium) en cartouches
- Emulsions /bouillies
- Produit pompable ne devenant explosif que par réaction de gazéification dans le trou de mine
- Cordeau détonant : artifice de tir(3 à 80 g/ml) transmettant l'onde de choc entre cartouches
- Nitrate fioul interdit en TP (gaz)



Les détonateurs



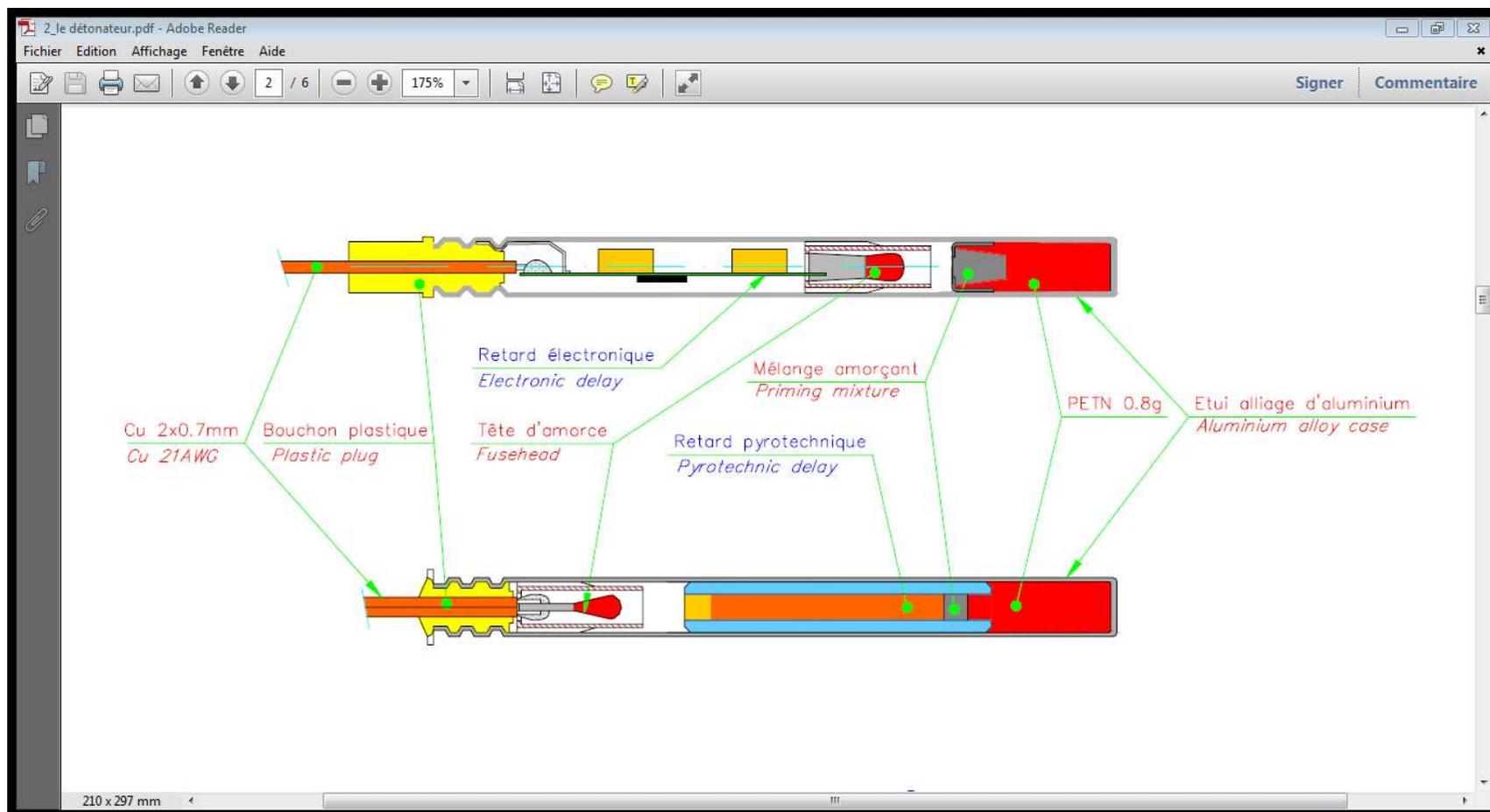


- Détonateurs électriques
- Détonateurs électroniques
- Détonateurs non électriques « NONEL »

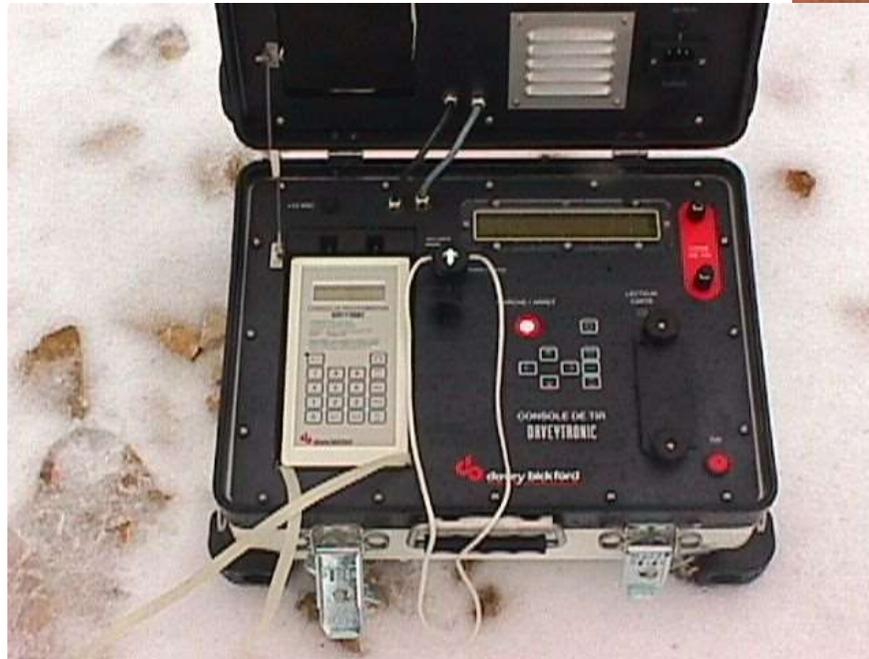


Détonateur

Principe de fonctionnement



Exploseur pour tir séquentiel électrique



Exploseur pour détonateurs électroniques

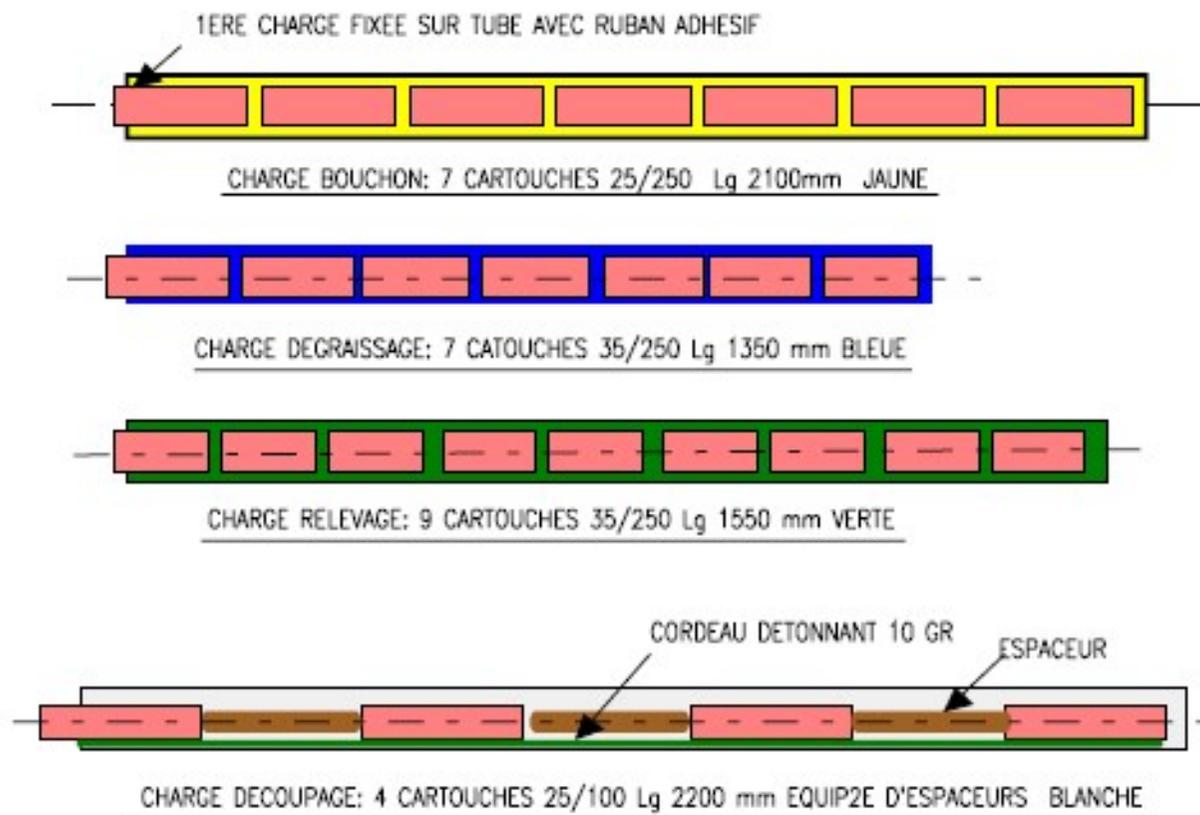
Transport des détonateurs



- Cantines métalliques
- Habillage intérieur et cloisonnement bois



Explosifs encartouchés - Précharges



Chargement avec des précharges



Vue d'ensemble du local de préparation des précharges



- Container 40 pieds
- Enceinte grillagée
- Emplacement éloigné des zones d'évolution des engins
- Mât d'éclairage de la zone



Préparation des précharges



- Etabli en bois
- Eclairage et chauffage anti-déflagrant
- Dispositif d'alerte
- Personnel habilité et spécialement formé



Préparation des précharges



- Mise en place des cartouches dans les tubes
- Extrémité de la cartouche laissée apparente pour faciliter la mise en place au front du détonateur
- Ruban adhésif à chaque extrémité pour maintenir les cartouches



Préparation des précharges de découpage



- Préparation des précharges de découpage
- Dévidoir de cordeau détonnant



Intérieur du dépôt de détonateurs



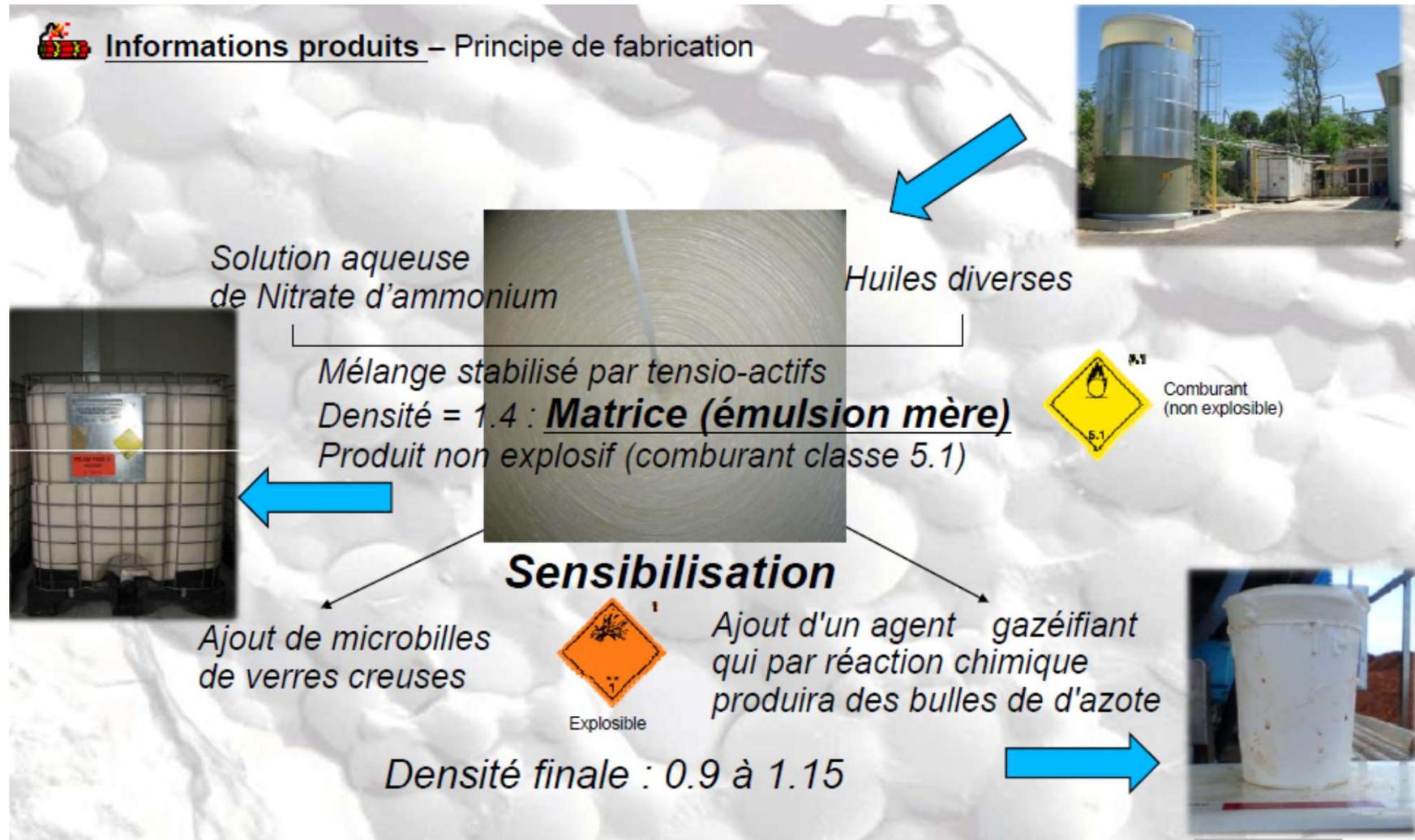
- Etagères avec compartiments
- Rangement par numéro et par type de détonateur (retard et court retard)



Les émulsions fabriquée & pompées à front



Le produit



Unité Mobile de Fabrication d'Explosif UMFE



Comparaison

| | unités | Dynaroc | NITRAM NTX1 GG |
|--|---------|----------|----------------|
| • Vitesse de détonation * | m/s | 7 669,00 | 5 771,00 |
| • Pression de détonation * | G.Pa | 22,06 | 10,32 |
| • Température de détonation * | °C | 2 666,85 | 1 659,85 |
| • Energie de réaction * | MJ/kg | 5,13 | 2,91 |
| • Energie de réaction * | Kcal/kg | 1 225,8 | 1695,34 |
| • Volume de gaz * | l/kg | 808,34 | 957,84 |
| • Capacité calorifique des gaz * | J/kg. | 1 630,00 | 1 754,00 |
| • Durée de la détonation pour 5,60m | sec | 0,00073 | 0,00097 |
| • Pour 115 fourneaux charge totale | kg | 700 | 950 |
| • La quantité de gaz produite | m3 | 566 | 910 |
| • La quantité de déblais pour 5,30 tiré | m3 | 371m3 | 371m3 |
| • Consommation pour 70 m ² et 5,30 tiré | kg/m3 | 1,89 | 2,56 |

*données théoriques du fournisseur

| | UMFE | Explosifs encartouchés | commentaires |
|---|---|---|--|
| Prix du produit | Moins élevé mais plus de quantité | Plus cher mais moins de quantité | Intégrer location matériel et coût opérateur. |
| Artifices de tir | Détonateur NONEL conseillé mais détonateurs HI également utilisés | Tradition française de l'utilisation du HI | |
| Installations | Hangar chauffé compatible produit classe 5A | Installation protégées si dépôt, ICPE Local précharges assimilé à un dépôt de 2 ^{ème} catégorie | |
| matériel | Location de l'UMFE avec technicien habilité du fournisseur | Pas d'intervention de tiers | Obligation réglementaire d'avoir le technicien du fournisseur. |
| Personnels nécessaires | | 2 personnes à la préparation des précharges | |
| Prix global au m3 excavé | | | Cf. REX chantier |
| Possibilité tir séquentiel grde section | Oui et plus facile avec du NONEL | oui | |
| Rendement des tirs | identique | identique | L'énergie au m3 est la même. Cf. REX Modane |
| Nocivité | Plus de gaz Précaution à prendre-dégagement ammoniac au contact du béton | Moins de gaz | Brumisation et arrosage du tas de marin après tir. |
| Temps de mise en œuvre | identique | identique | Les nouvelles unités de pompage seront dotées de deux pompes. A terme le morse sera plus rapide |
| Mise en œuvre | Beaucoup plus simple : Pas de soufflage des trous | Difficulté dans les terrains bouillants | Adopté par tous les mineurs de la profession. Aucun nouveau chantier en encartouché depuis 2007. |



| | UMFE | Explosifs encartouchés | commentaires |
|----------------------------|---|---|----------------------|
| fonctionnement | En principe meilleur en raison du meilleur découplage avec le terrain. L'énergie de choc est intégralement transmise au terrain | Moins bon découplage : Il y a un vide entre la cartouche et le terrain | |
| Gain de temps envisageable | Sous réserve du respect des seuils de vibration : Possibilité de forer en 63 voir plus et faire moins de trous => gain sur la foration et les artifices | non | Evolution actuelle |
| Restrictions techniques | Forte venue d'eau cf. SALAZIE, communication entre les mines | non | |
| Sécurité pour les mineurs | <ul style="list-style-type: none"> • Les composants sont des produits de classe 5A – dangerosité équivalente au GO • Explosif actif après avoir été injecté dans la mine • Peu d'imbrulé • En cas de raté : lavage à l'eau* • Désactivation du produit dans le temps | <ul style="list-style-type: none"> • Temps de présence humaine au front supérieur. • Présence d'imbrulé | |
| précautions | Gants et lunettes – pas de contact avec la peau et les yeux. | Idem – risque de projection lors du soufflage des trous | |
| Contrôle des quantités | aisé | Pas facile - pas de contrôle des imbrulés | |
| Traçabilité | | Le nouvel arrêté du 5 mars 2009 impose une identification des cartouches à l'unité, code barre !!!! | ATTENTION |
| Restriction réglementaire | | Fortes contraintes sur dépôt ou local précharge assimilé souvent à un dépôt ou une ICPE – local de conditionnement | Développé ci-dessous |



La Foration automatisée en souterrain



- Sommaire
- Bref rappel historique
- Les besoins
- Principe de fonctionnement
- Les matériels
- Disponibilité et maintenance
- Les hommes
- Perspectives



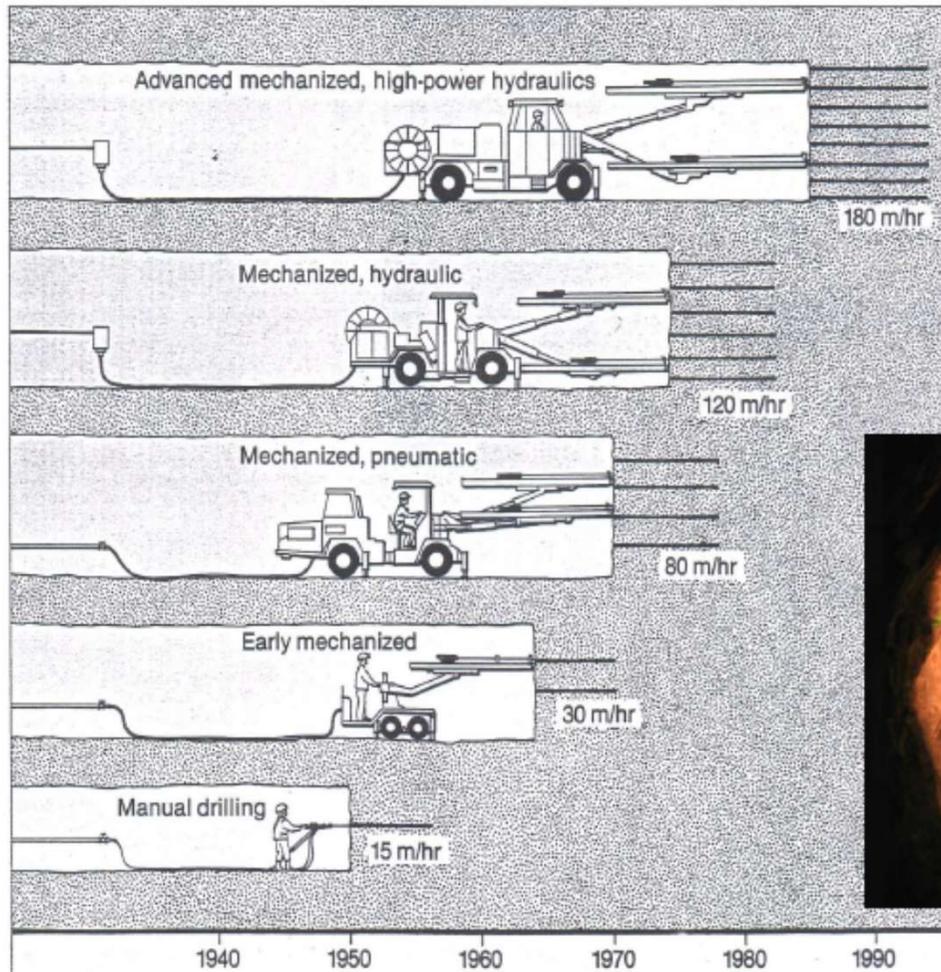
Foration automatisée en souterrain



- Développement de la foration automatisée
- Parallélisme des bras
- Régulation de la poussée
- Puissance des marteaux
- Informatique embarquée



Evolution des engins depuis 50 ans



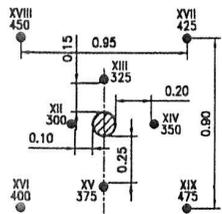


- Les besoins des ouvrages souterrains
- Précision du découpage de la section
- Amélioration de la rentabilité
- Suivi contractuel
- Environnement





Détail du bouchon



Surface excavée : 64 m²

- † séquence : 30 millisecondes
- bouchon : 8 trous
- abattage : 64 trous
- relevage : 13 trous
- découpage : 50 trous
- + 1 trou vide #127
- TOTAL : 136 trous

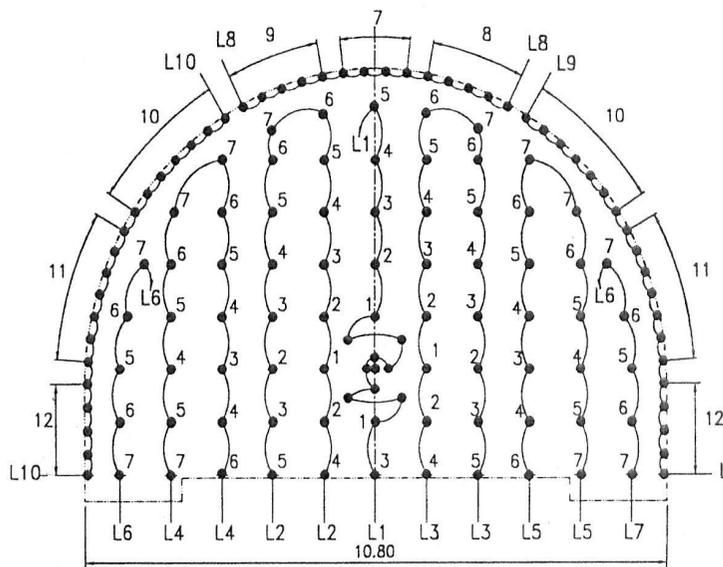
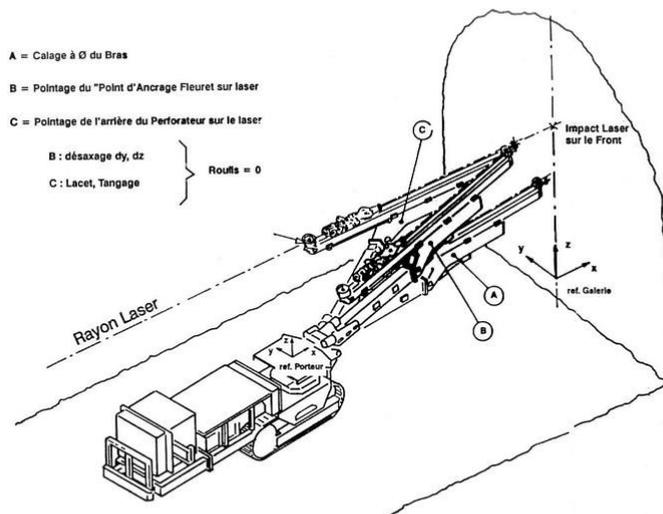


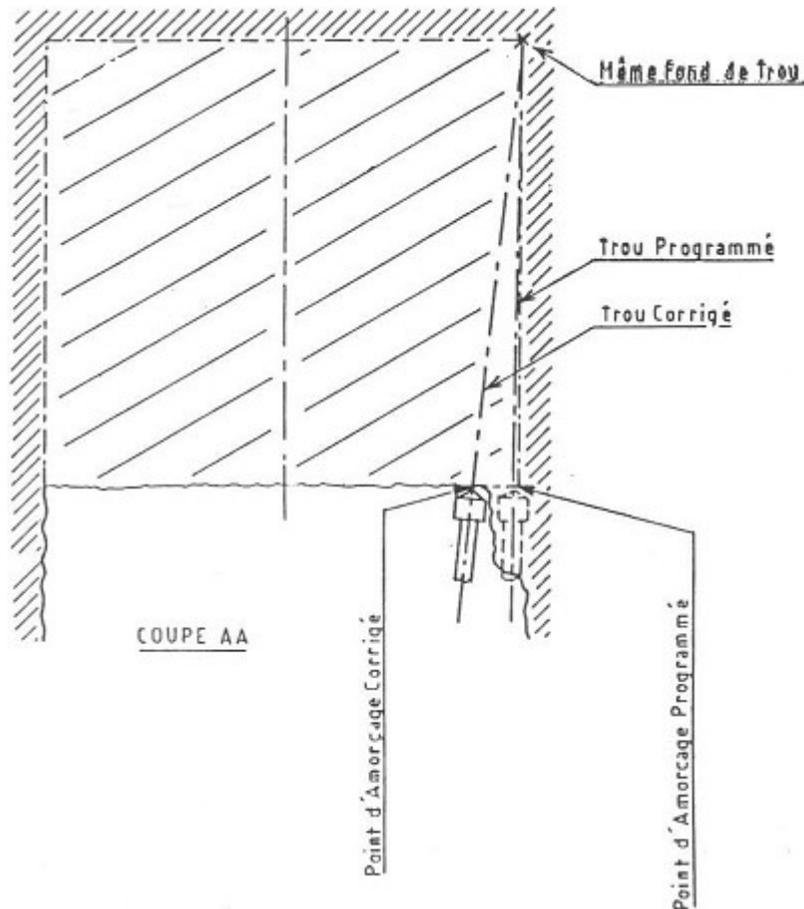
Figure 2 - Tunnel de la Duchère - Site Propre BUS - Plan de Tir Pleine Section

- Tir séquentiel & foration automatisée
- Limitation des vibrations
- Qualité du découpage
- Préservation de l'environnement



- Principe de fonctionnement
- Paramétrage du profil de l'ouvrage
- Programmation des plans de tir
- Positionnement du jumbo

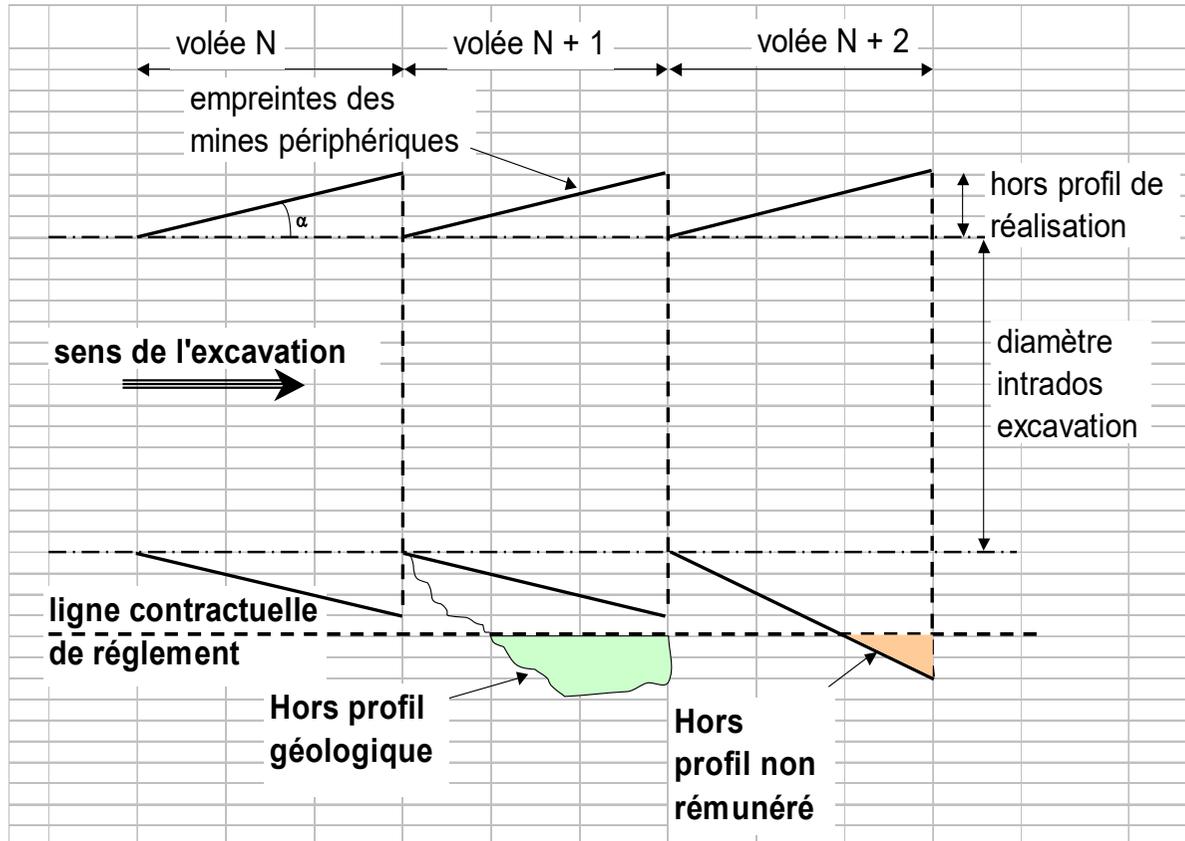
Foration – positionnement du bras



- correction des sous profils
- Rattrapage de la verticalité



Foration automatisée en souterrain



Principe de rémunération

- Ligne de règlement
- Importance contractuelle
- Impact financier sur l'excavation, le revêtement



Impact sur l'étanchéité



Impact sur le masque



Impact sur le volume de béton



Quelques ordres de grandeur

| | |
|--|---------|
| rayon | 5 m |
| hauteur sous clef | 10 m |
| déviations par rapport à la ligne de découpe théorique | 5° |
| longueur volée | 4 m |
| longueur du tunnel | 2 000 m |

| surface front | Volume volée | Différence de volume | Différence exprimée en % | prix de vente déblais (40€/m3) | prix de vente béton (180€/m3) |
|-------------------|--------------------|----------------------|--------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| 89 m ² | 357 m ³ | 21 m ³ | 6% | 420 k€ | 1 890 K€ |
| 95 m ² | 378 m ³ | | | | |

Foration automatisée en souterrain



- Les matériels
 - Caractéristiques
 - Puissances
 - Poids
 - équipements



Foration automatisée en souterrain

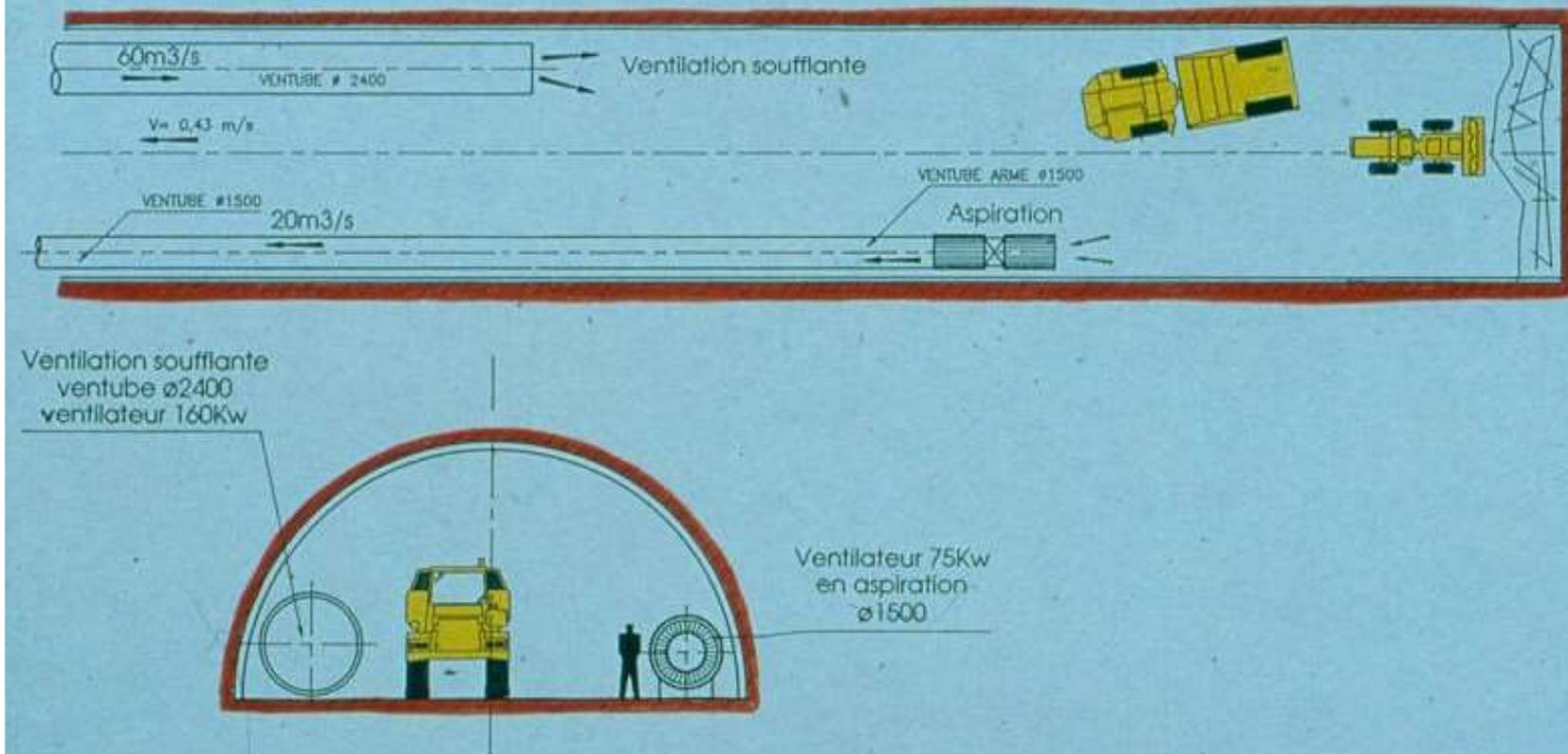


- Perspectives de développement
- Renouveau des souterrains excavés en traditionnel
- Polyvalence des matériels
- Sécurité et amélioration des conditions de travail

La Ventilation



Principe de ventilation en tunnel Abattage à l'explosif



RAPPEL SUR LES RISQUES AVEC LES GAZ DE COMBUSTION DES EXPLOSIFS

Chaque kg d'explosif produit:

- Nitram 940 litres de gaz CO, NH₃, NO₂, CO₂
- Encartouchés 850 litres de gaz CO, NO₂, NO, CO₂



RAPPEL SUR LES RISQUES AVEC LES GAZ DE COMBUSTION DES EXPLOSIFS

- OXYGENE
- De 19% à 23% niveau normal d'oxygène
- De 16% à 19% difficultés respiratoires, nausées, vomissements, vertiges
- De 12% à 16% Perte de connaissance
- Inférieure à 12% Perte de connaissance entraînant la mort

- Inférieure à 12% perte de connaissance entraînant la mort



RAPPEL SUR LES RISQUES AVEC LES GAZ DE COMBUSTION DES EXPLOSIFS

- AMMONIAC
- Avant 2006 VME = 25 ppm VLE = 50 ppm
- Depuis 2006 VME = 10 ppm VLE = 20 ppm

**Irritation des muqueuses oculaires et
respiratoires, détresse respiratoire, brûlures
cutanées**



RAPPEL SUR LES RISQUES AVEC LES GAZ DE COMBUSTION DES EXPLOSIFS

- DIOXYDE DE CARBONE CO₂
 - VME 0,5%
 - VLE 3%
 - Inodore, incolore, densité 1,5

**Difficultés respiratoires,
pertes de connaissance entraînant la mort**



RAPPEL SUR LES RISQUES AVEC LES GAZ DE COMBUSTION DES EXPLOSIFS

- MONOXYDE DE CARBONE CO
 - VME 50ppm%
 - VLE 500ppm
 - Inodore, incolore, densité 9,7.
 - Le CO se fixe sur l'hémoglobine du sang à la place de l'oxygène.

**Chronique: Maux de tête, vertiges, asthénie.
Aiguë: Paralysie, coma, décès.**



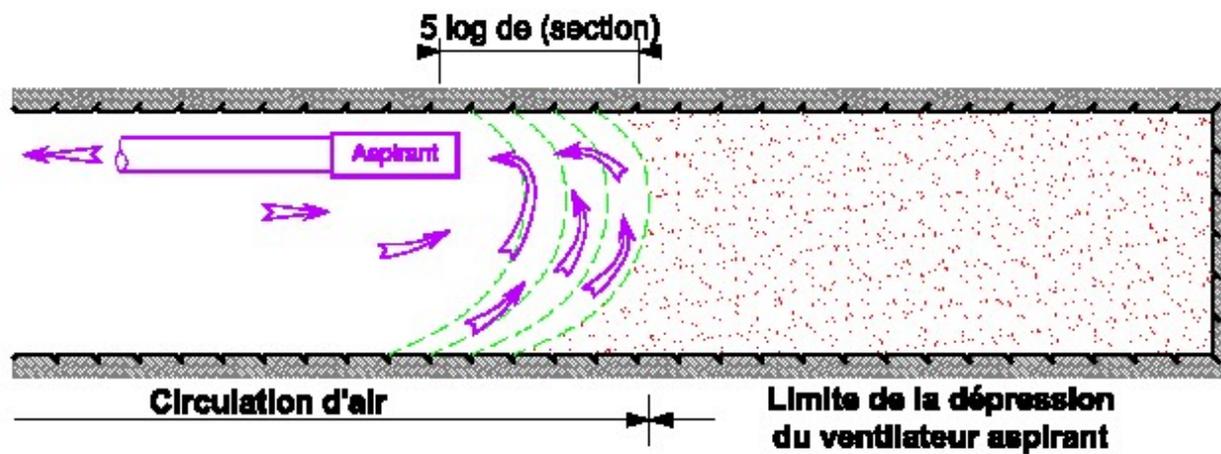
CONTRÔLE DE L'ATMOSPHERE - COMPORTEMENT A ADOPTER

| | | | | | | | |
|-------------------|------------------|------------------------------------|-----------|-------------------------------|--------------------------|--|----------------------------|
| OXYDE DE CARBONE | CO | 0 | VME | 50 ppm | 100 ppm | VLE | 400 pm moins de 15 minutes |
| | | | | Reculer Ventil 100% | Arrêt des moteurs Dièsel | Sortir se réfugier | |
| GAZ CARBONIQUE | CO ₂ | 0 | VME | 5 000 ppm moins de 15 minutes | VLE | 30 000 ppm moins de 15 minutes | |
| | | | | Reculer Ventilation 100% | Sortir se réfugier | | |
| OXYGENE | O ₂ | 0 | | 19% | | 20,1% | |
| | | | | | | | |
| | | Sortir se réfugier à partir de 19% | | | | | |
| MONOXIDE D'AZOTE | NO | 0 | VME | 25ppm | | | |
| | | | | Sortir se réfugier | | | |
| DIOXIDE D'AZOTE | NO ₂ | 0 | VLE | 3 ppm 15 minutes | | | |
| | | | | Sortir se réfugier | | | |
| HYDROGENE SULFURE | H ₂ S | 0 | VME | 5 ppm | VLE | 10 ppm moins de 15 minutes | |
| | | | | VLE moins de 15 minutes | | Sortir se réfugier | |
| AMMONIAC | NH ₃ | 0 | VME | 10 ppm | VLE | 20 ppm moins de 15 minutes | |
| | | | | | | Sortir se réfugier | |
| METHANE | CH ₄ | 0 | Préalarme | 0,4% | 0,5% | 1,5% | |
| | | | | | | Sortir / Refugier Plus d'éclairage et de courant de production | |
| | | Plus de pompage | | | | | |

VME = Valeur moyenne d'exposition pendant 8 heures

VLE = Valeur limite d'exposition pendant 15 minutes

Limites techniques du ventilateur aspirant

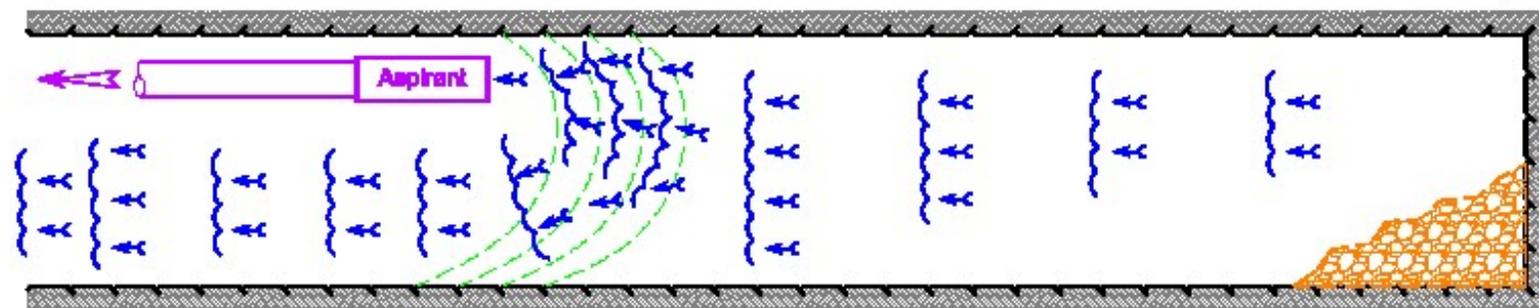


Page : 1/8

3 minutes après le tir - Ventilateur aspirant en marche

940 litres de gaz par kg de Nitram.
ou 850 litres de gaz par kg de Dinaroc.

200 à 300 m de galerie polluée par les gaz de tir.

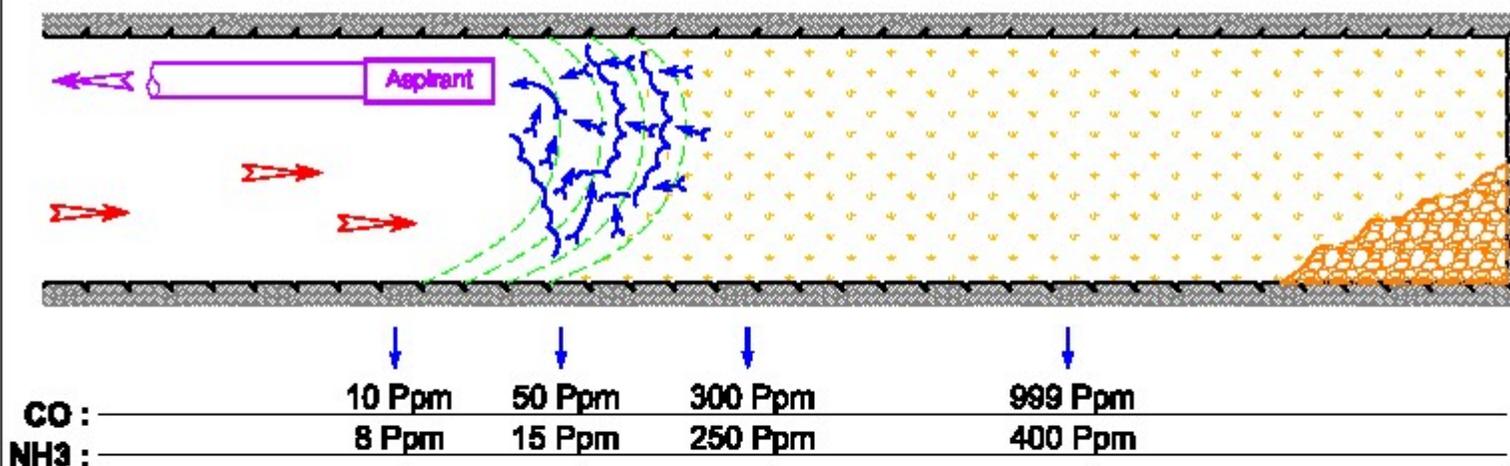


↓ Teneur en gaz

CO : _____ 999 Ppm (saturation des capteurs)
NH3 : _____ 999 Ppm (saturation des capteurs)

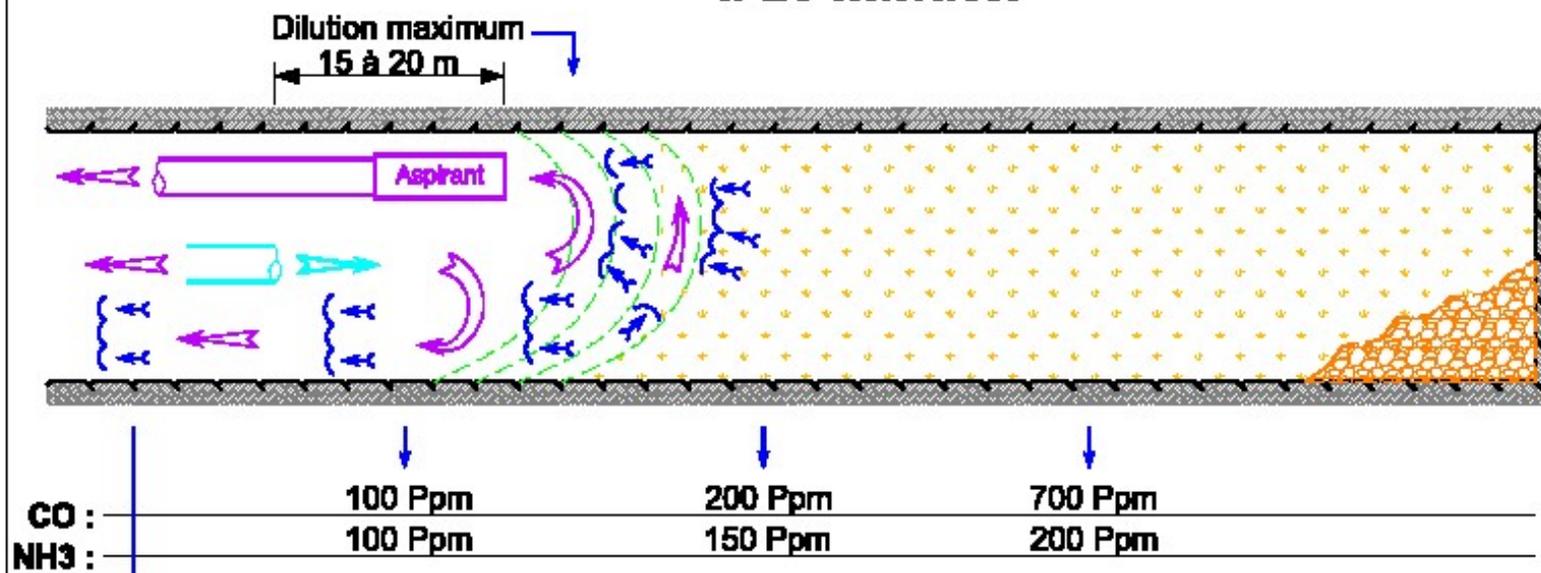
≈ 25 minutes après le tir - Ventilateur aspirant en marche Ventilateur soufflant arrêté.

Fin de la phase aspiration à toxicité maximum.
dilution minimum.



Page : 39

**≈ 25 minutes après le tir - Ventilateur aspirant en marche
Ventilateur soufflant en marche
à 20 minute.**

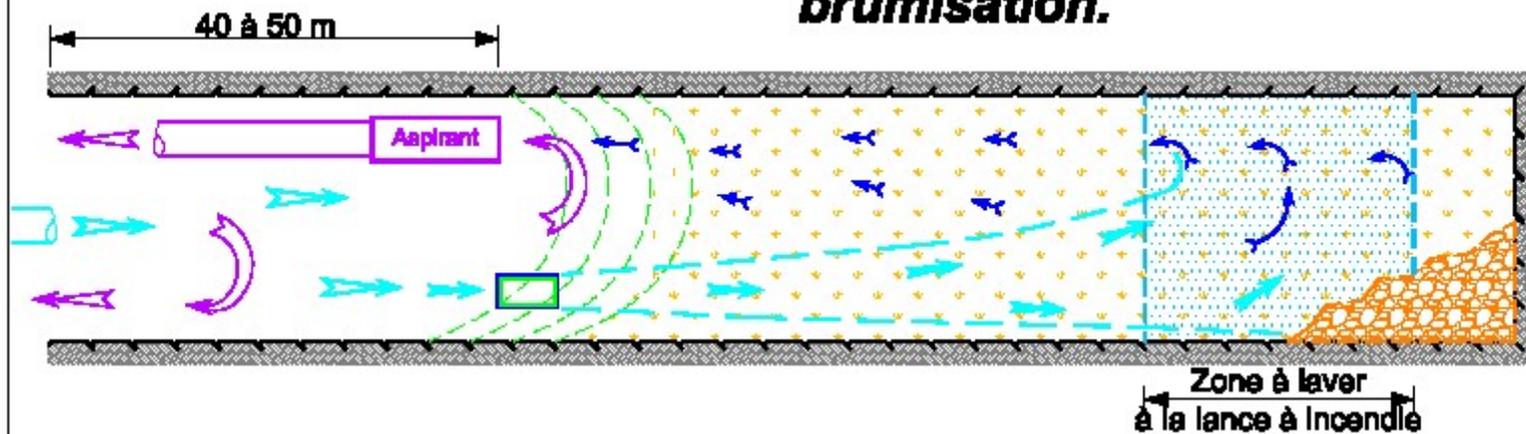


Pollution de la galerie en arrière du soufflage.

Temps de ventilation allongé par la dilution induite par le soufflage trop précoce.

Page : 4/8

**Schéma de la ventilation avec : Ventilation aspirante en marche.
Ventilation soufflante en marche.
Brasseur en marche avec
brumisation.**



Avantage de la brumisation :

- Moins de poussières.
- Piégeage de NH₃ gazeuse.
- Pas de piétons pendant le marinage.

Page : 66

AVANTAGES DE LA BRUMISATION



Les contraintes réglementaires

- La sureté
- L'environnement
- La sécurité des travailleurs à l'intérieur de l'établissement
(emprise mise à disposition par le Moa)



La synthèse

| Désignation de la zone | Z1 | Z2 | Z3 | Z4 | Z5 |
|------------------------------|--|-----------------------------|--------|----------------|--------------------------------------|
| Conséquences sur l'homme | Extrêmement graves (mortel dans 50% des cas) | Très graves | Graves | Significatives | Effets indirects par bris de vitre |
| Dégâts prévisibles aux biens | Extrêmement graves | Importants & effets dominos | Graves | Légers | Destruction significatives de vitres |

- Division de risque & groupes de compatibilité
- Zones d'effets
 - Z2 ne doit pas sortir des limites d'emprise

Définition des zones d'effets

En terrain plat et sans obstacles

Distances données pour 1000 Kg:

- $Z1 = 5 \sqrt[3]{Q}$, (50 m)
- $Z2 = 8 \sqrt[3]{Q}$, (80 m)
- $Z3 = 15 \sqrt[3]{Q}$, (150 m)
- $Z4 = 22 \sqrt[3]{Q}$, (220 m)
- $Z5 = 44 \sqrt[3]{Q}$, (440 m)



Dans l'enceinte de l'établissement

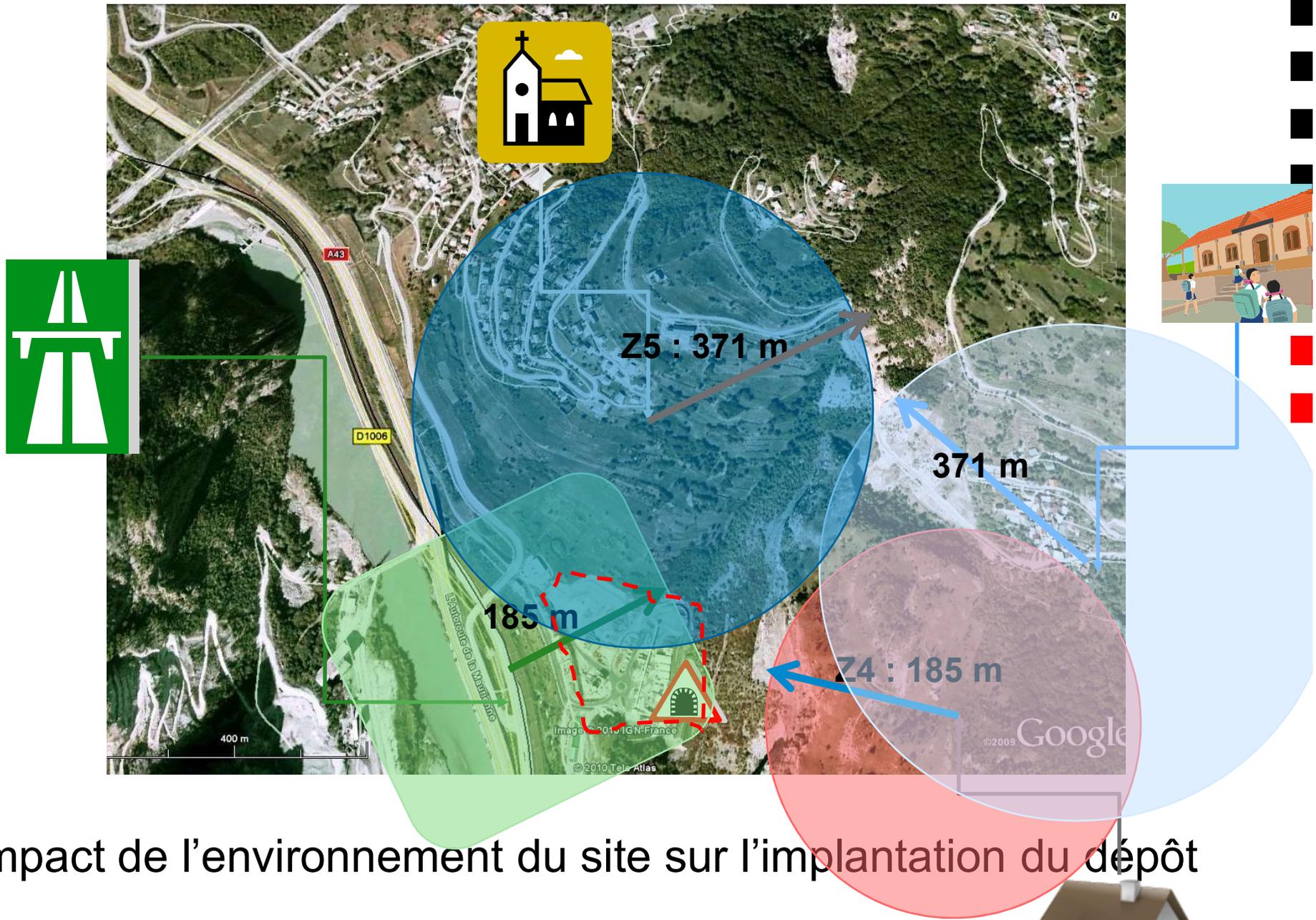
| Type d'installation | Caractéristiques de chaque catégorie d'installations | Symbole de classement |
|--|--|-----------------------|
| Constructions ou emplacements intérieurs à un établissement pyrotechnique | Installations pyrotechniques (emplacements de travail, ateliers, dépôts, magasins de stockage...) ainsi que voie d'accès proche de a0. | a1 |
| | Installations pyrotechniques non classées a1 et voies de circulation intérieurs les desservants | a2 |
| | Bâtiments et locaux non pyrotechniques et voies d'accès non classées a1 ou a2 | a3 |
| | Bâtiments ou locaux non pyrotechniques non classés a1 ou a3 pour l'une des raisons suivantes: <ul style="list-style-type: none"> • Pas de lien avec l'activité pyro.. • Accueil de personnes non liées à l'activité pyro. en vue d'activités sportives ou sociales | a4 |
| <i>L'installation pyrotechnique où se produirait l'accident est désignée a0.</i> | | |



A l'intérieur de l'établissement

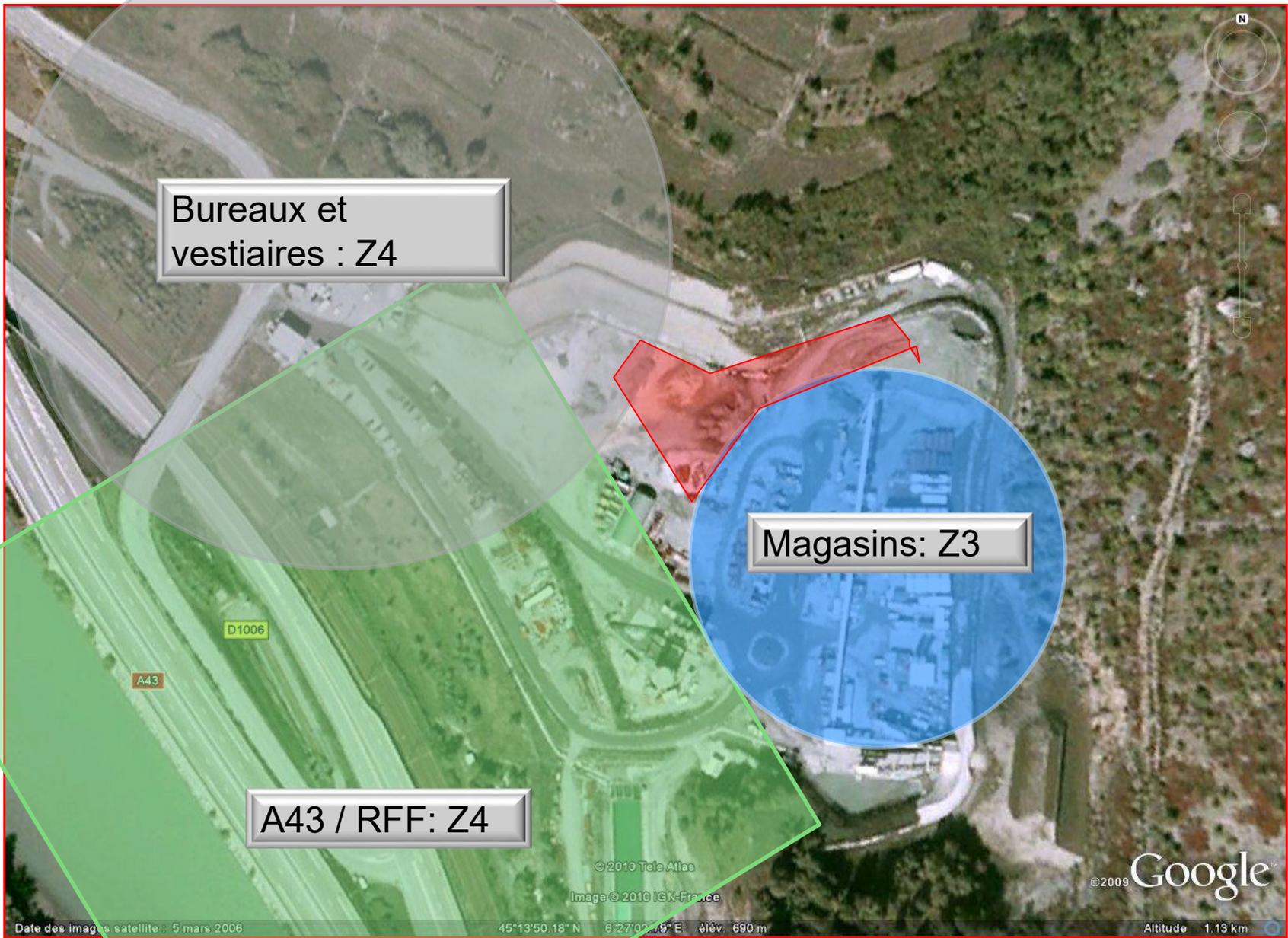
| Zones d'effet | Probabilité d'accident pyrotechnique | | | | |
|--|--------------------------------------|------------------|----------------|---------------|--------------------|
| | P0/P1 Très rare | P2 improbable | P3 probable | P4 courant | P5 Très courant |
| Z1 | a0 | a0 | a0 (*) | a0 (**) | a0 (**) |
| Z2 | a1 a2 | a1 a2 (*) | a1 | a1 (*) | a1 (**) |
| Z3 | a1 a2 a3 | a1 a2 | a1 a2 | a1 | a1 (*) |
| Z4 | a1 a2 a3 a4 | a1 a2 a3 | a1 a2 | a1 a2 | a1 |
| Z5 | a1 a2 a3 a4 | a1 a2 a3 a4 | a1 a2 a3 a4 | a1 a2 a3 | a1 a2 a3 |
| (*) exposition < 10% du tps de travail (**) interdiction totale | | | | | |





Impact de l'environnement du site sur l'implantation du dépôt





Un métier d'Hommes

