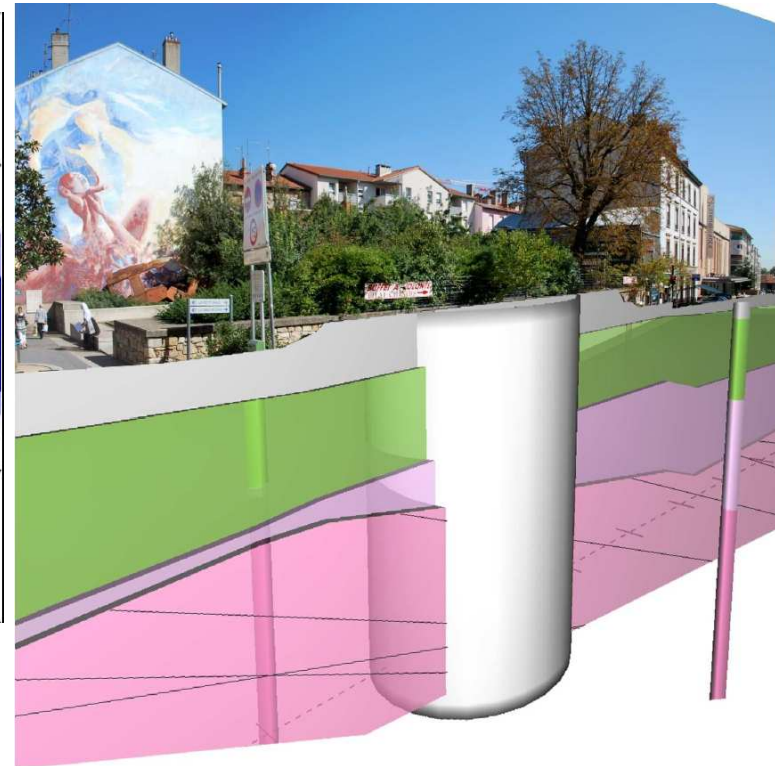
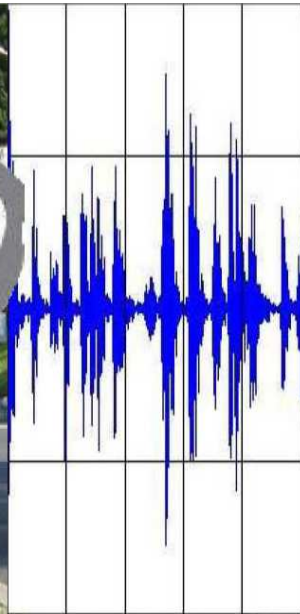


# Suivis des vibrations réalisés sur les ouvrages lyonnais



## Puits Orsel à Oullins & Tunnel de Croix-Rousse

C. GAILLARD  
T. PANIGONI





# Présentation et situation du puits

## Puits Orsel :

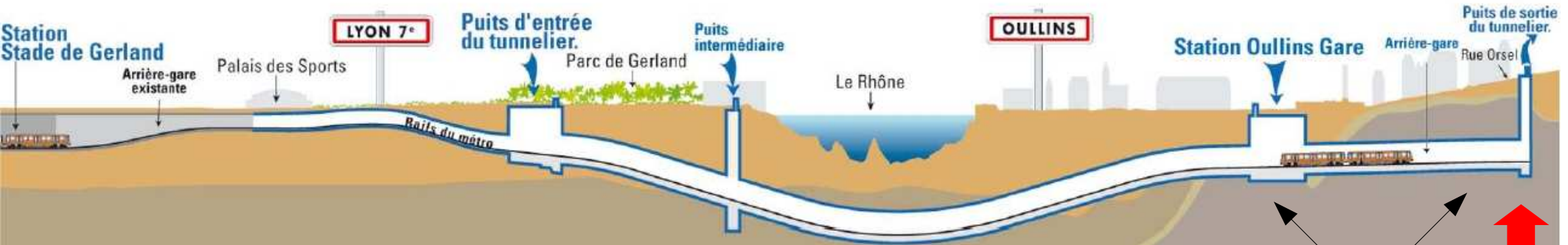
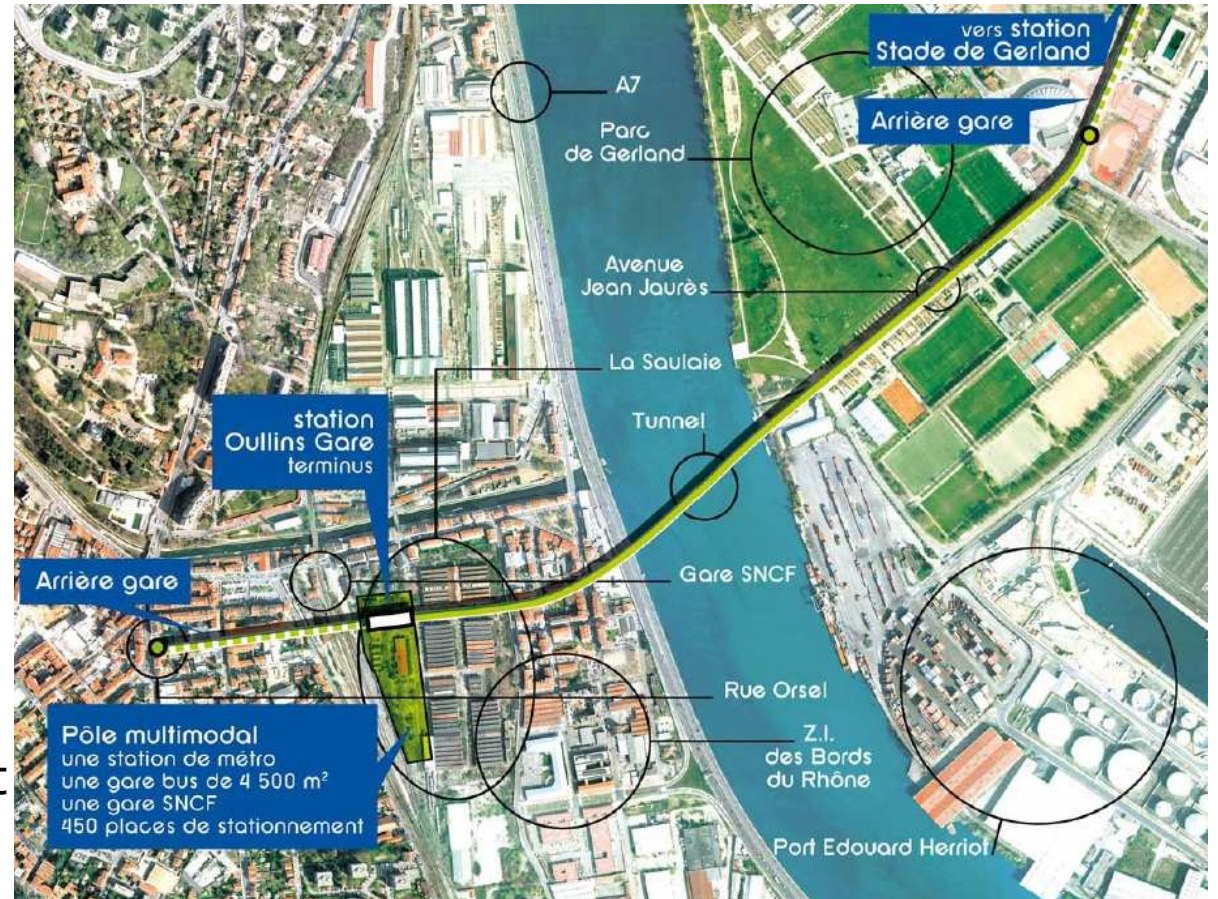
puits de ventilation et de Sécurité pour l'extension de la ligne B du métro de Lyon.

Caractéristiques :

18 m de diamètre

27 m de profondeur

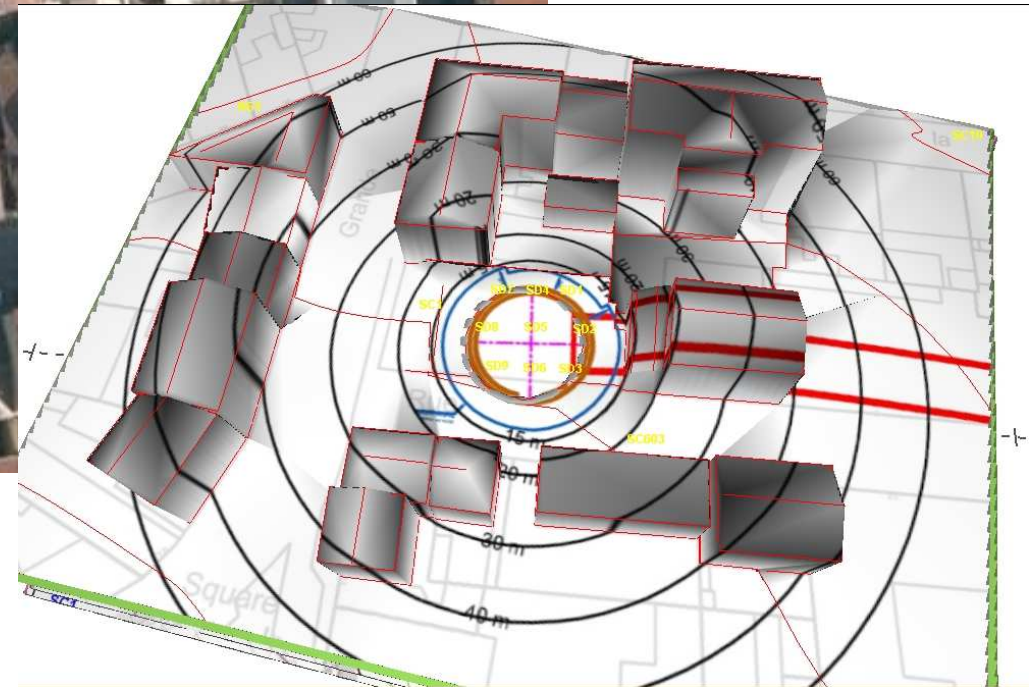
Coupe synthétique du projet (orientée Est-Ouest)



zone granitique





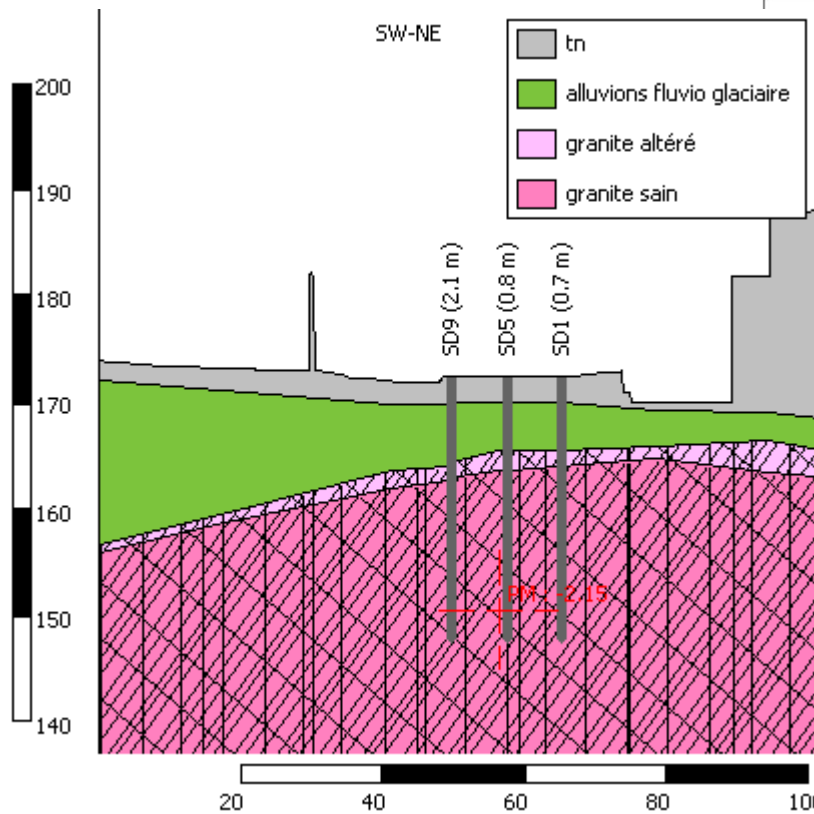


Les structures les plus proches sont situées à 15 m du centre du puits

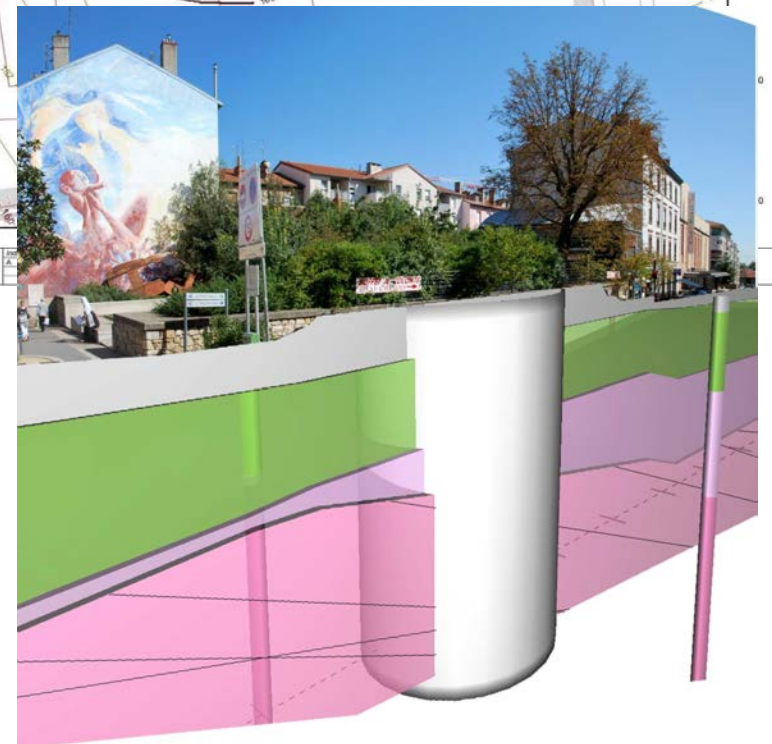
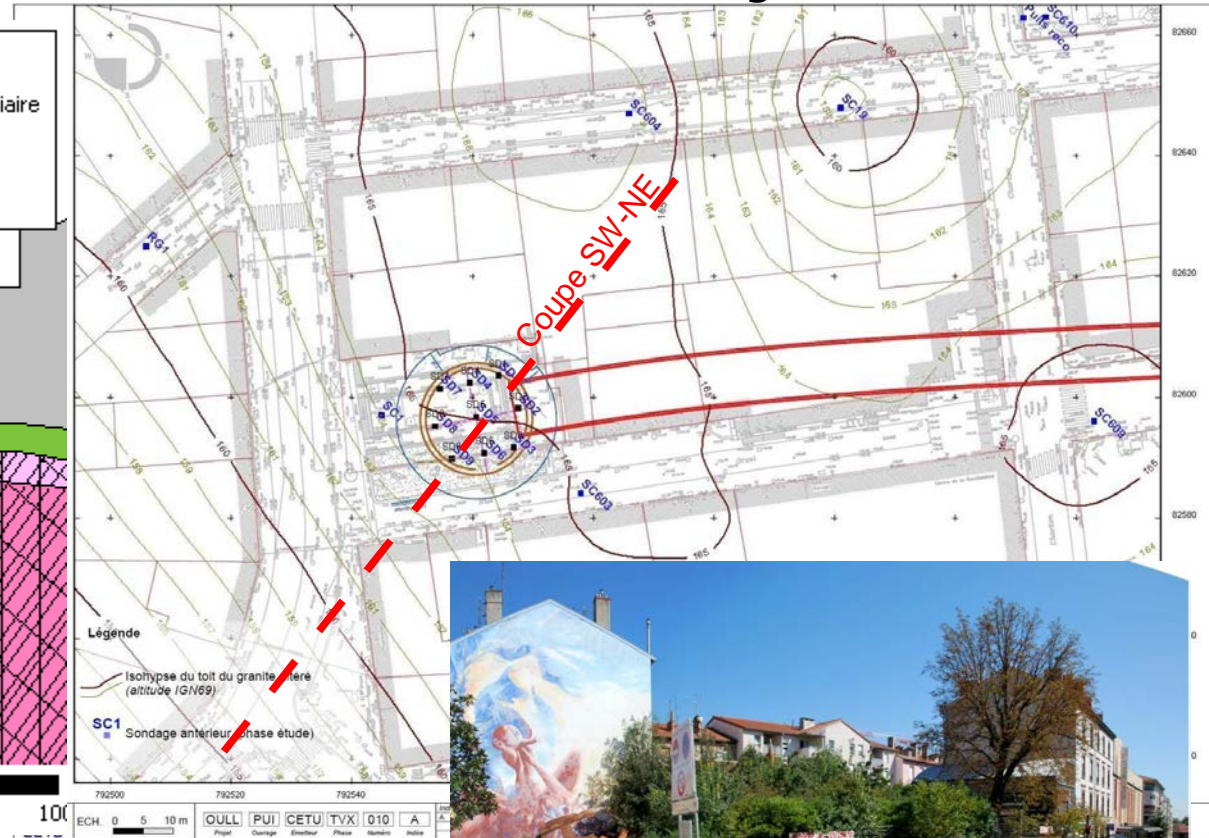


# Morphologie du dôme granitique

Coupe SW-NE



Carte du toit du granite altéré



Terrains observés par les reconnaissances :

- Remblai (graves dans matrice sableuse)
- Alluvions fluvio-glaciaire (sables avec des passées de galets ou d'argile)
- Granite altéré
- Granite sain

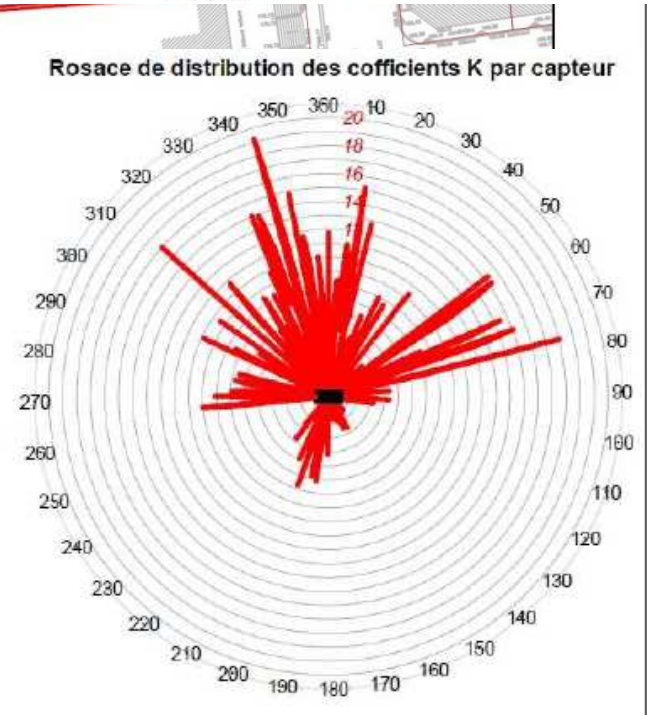
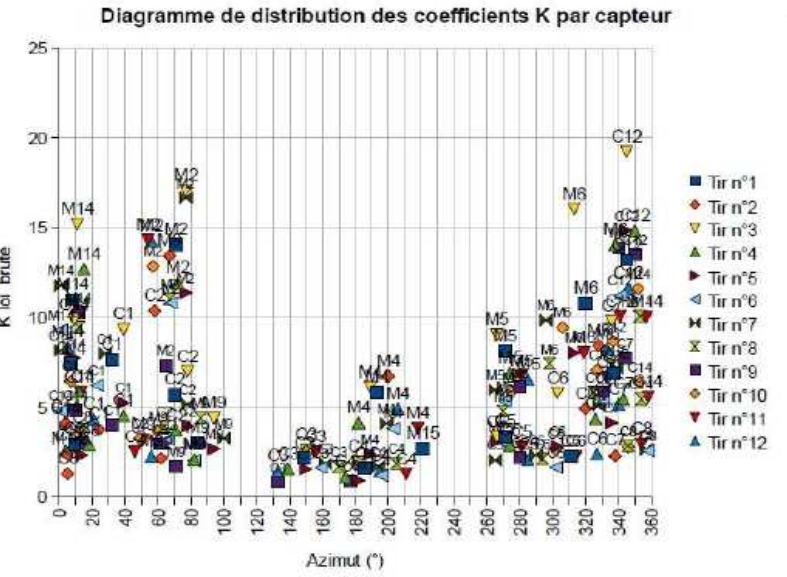
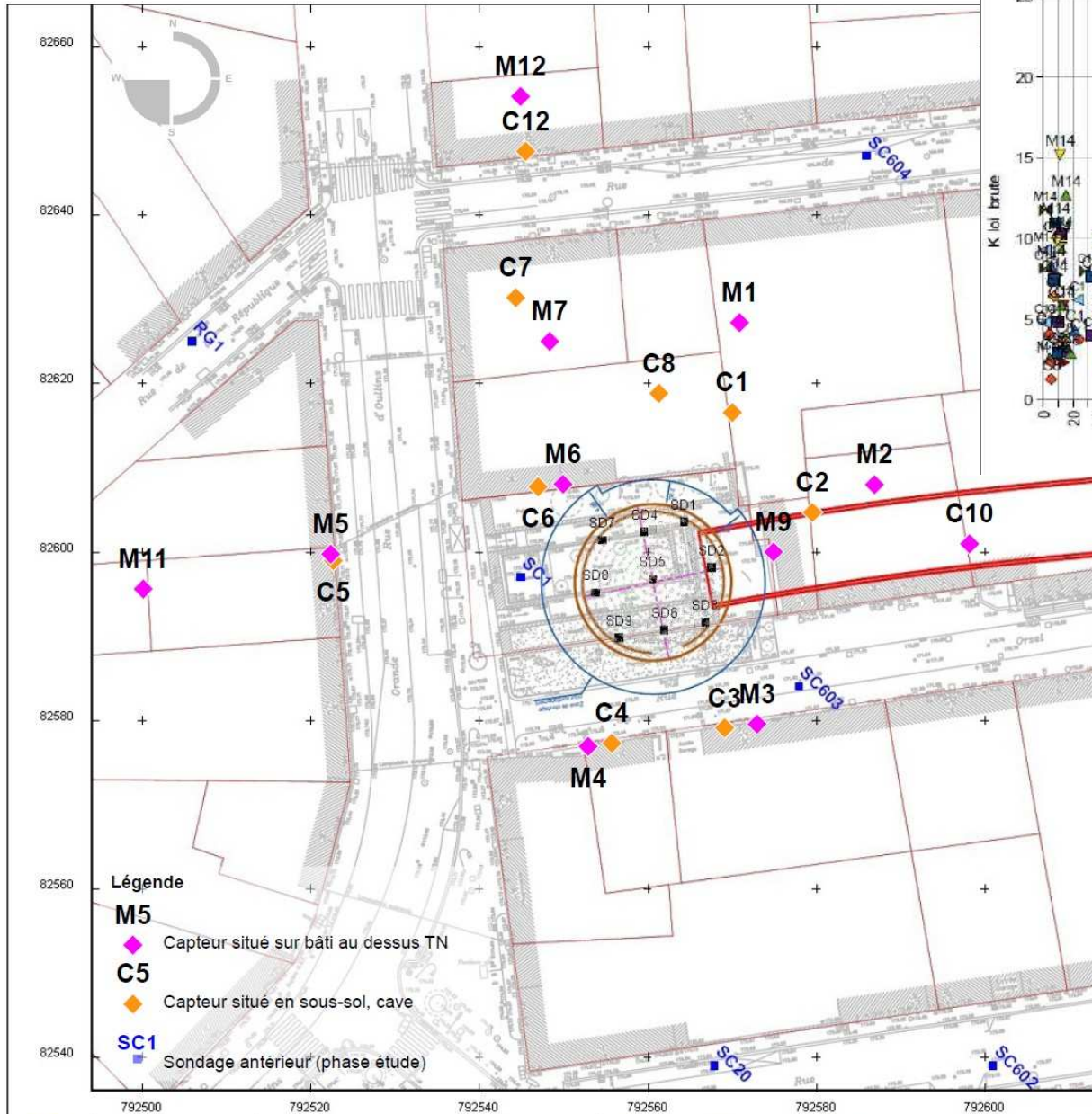
- Assistance maître d'oeuvre pour l'usage des explosifs en site urbain et le contrôle des vibrations
- Rédaction du CCTP (définition des seuils),
- Essais de tirs et suivi creusement

Ouvrage concerné	Seuil de travail	Seuil absolu
Habitation (maçonnerie)	8 mm/s < 30Hz 10 mm/s toutes fréquences confondues	10 mm/s < 30Hz 15 mm/s toutes fréquences confondues
Habitation (béton armé)	12 mm/s < 30Hz 15 mm/s toutes fréquences confondues	15 mm/s < 30Hz 20 mm/s toutes fréquences confondues
Conduite enterrée	25 mm/s toutes fréquences confondues	30 mm/s toutes fréquences confondues



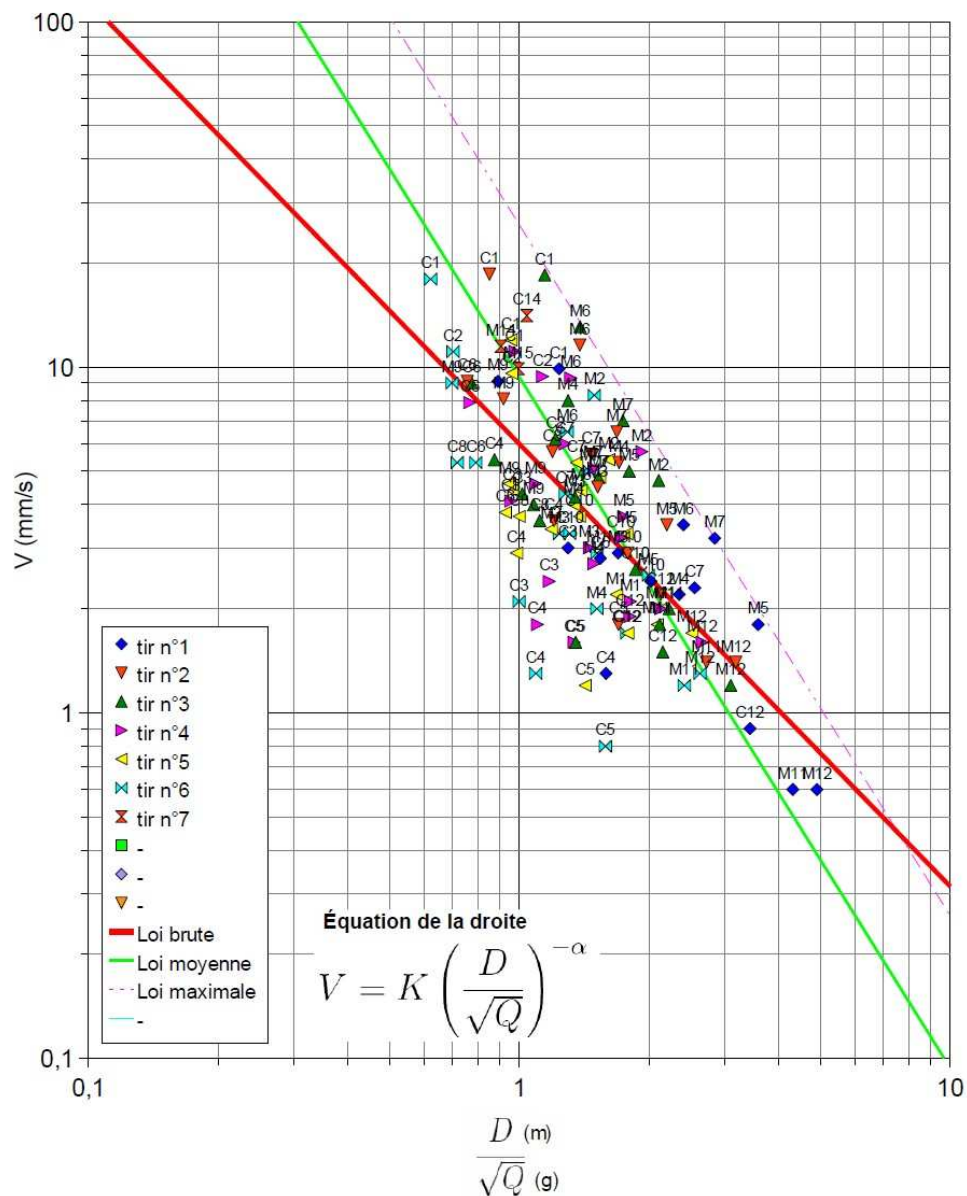
# Disparité de propagation des vibrations selon les directions

## Essais de tirs



Tir du 14/28/04/10

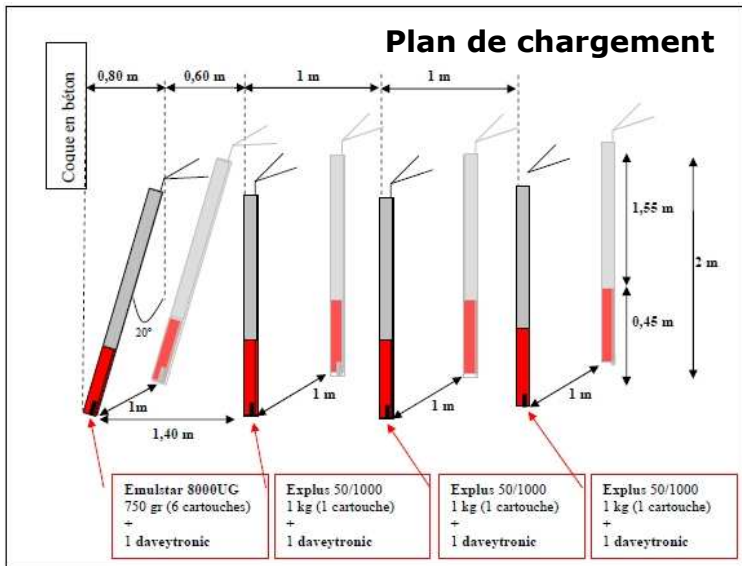
Essais de tirs



Loi d'amortissement  $K= 9,4$  et  $\alpha -2,0$ .  
 Le coefficient de site  $K$  est moyen et permet de dire que la retransmission des vibrations au sein du massif est bonne. Elle coïncide avec la qualité du massif rocheux.

Équations des droites	Loi brute	Loi moyenne	Loi maximale
	$V = 6,0 \left( \frac{D}{\sqrt{Q}} \right)^{-1,3}$	$V = 9,4 \left( \frac{D}{\sqrt{Q}} \right)^{-2,0}$	$V = 25,8 \left( \frac{D}{\sqrt{Q}} \right)^{-2,0}$
Coefficient de corrélation =	0,480		

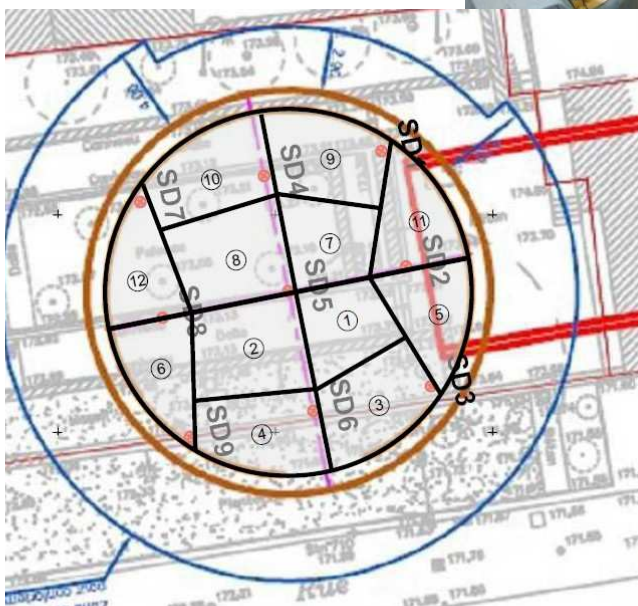
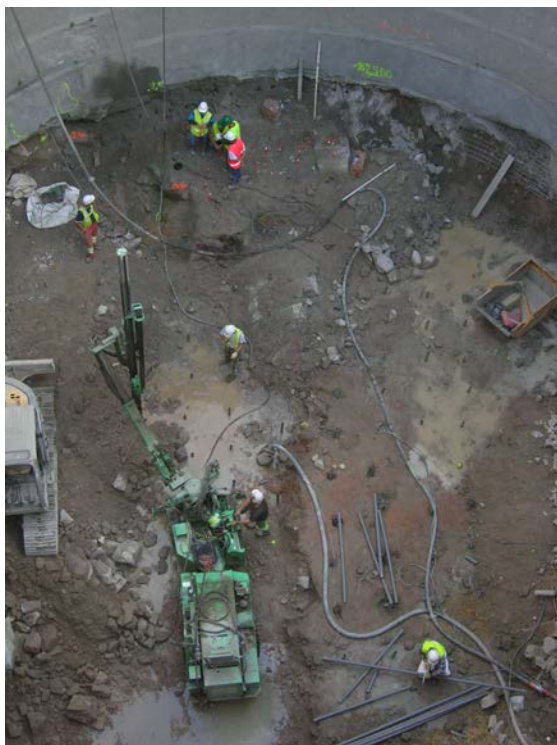




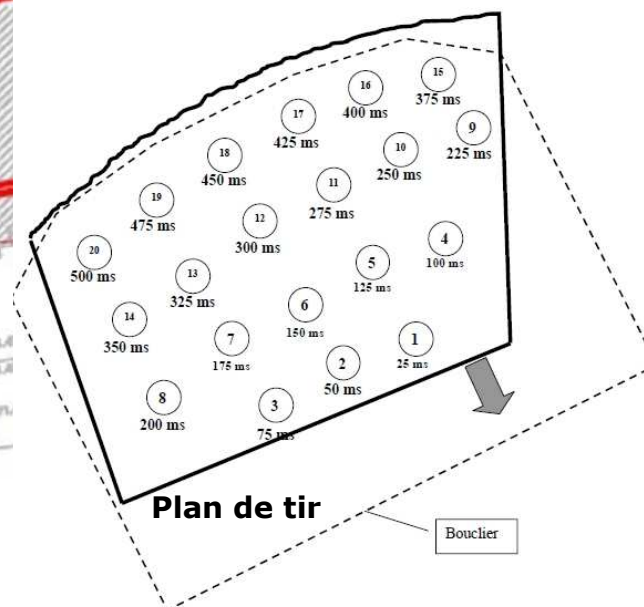
**Excavation à l'explosif en 12 zones (environ 21 m<sup>2</sup> chacune) protégées par un bouclier**

## Principe du creusement

Émulsion encartouchée  
Détonateur électronique

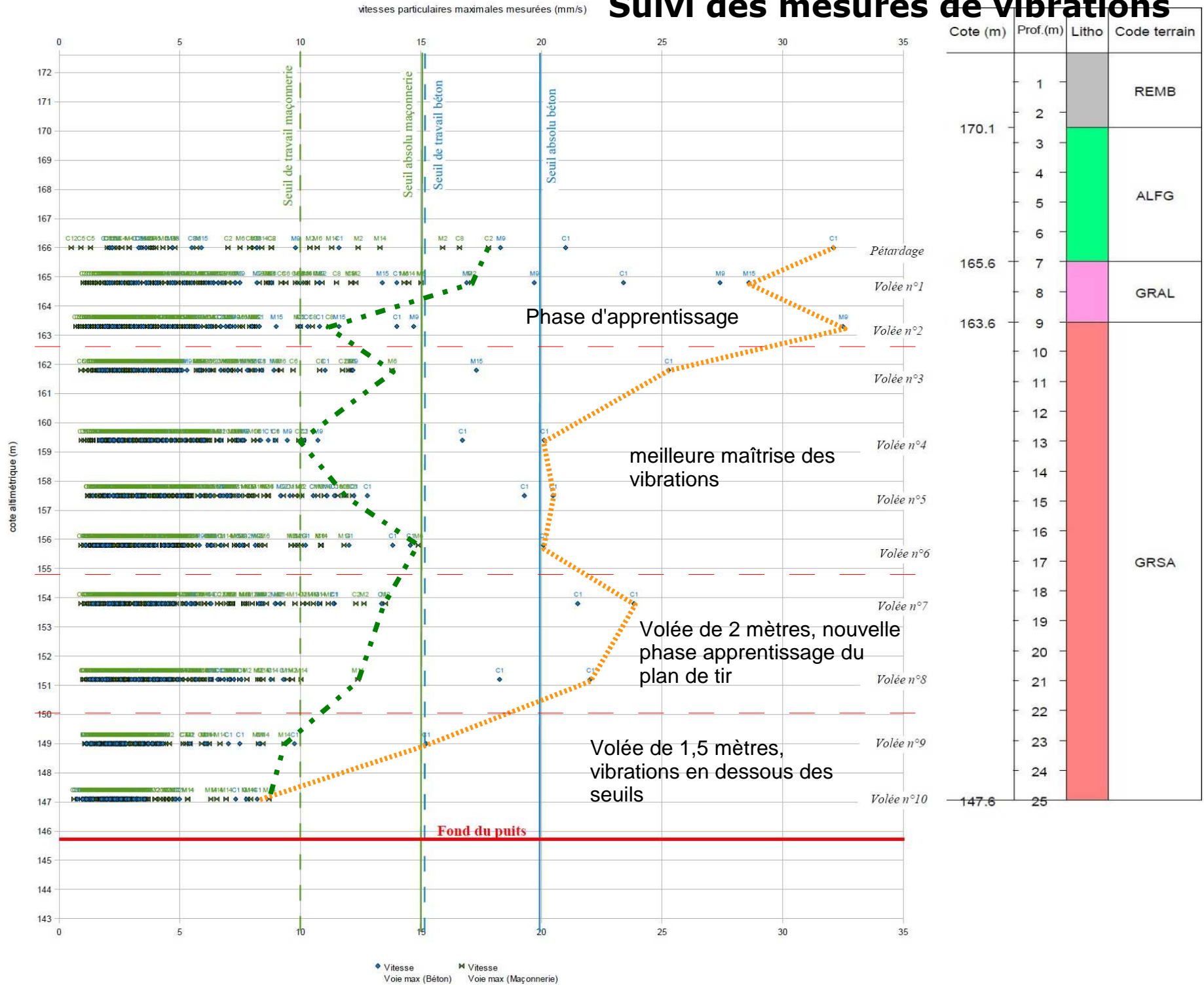


**12 zones de tir**



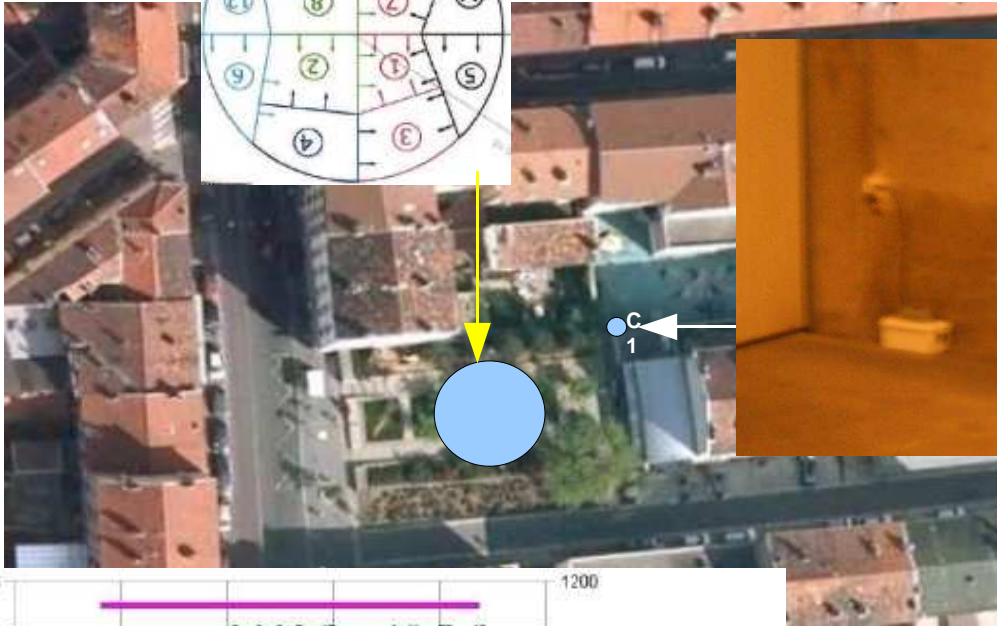


## Suivi des mesures de vibrations

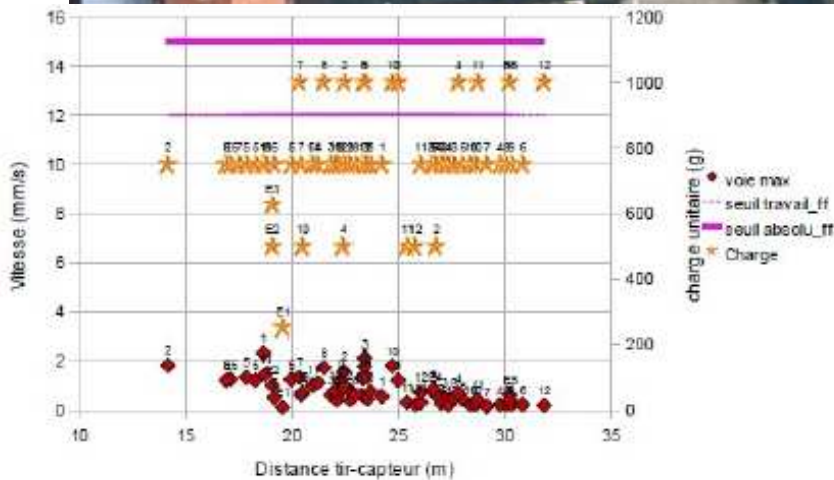
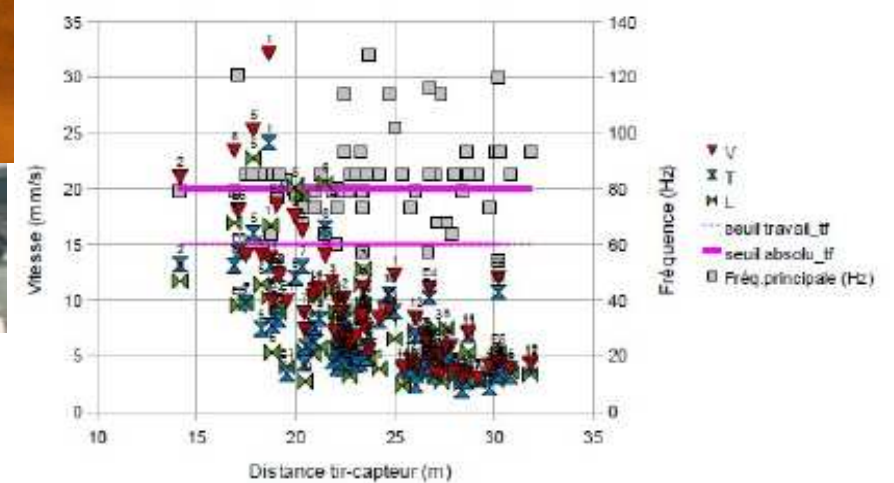


# Amortissement en fonction de la distance

Suivi des tirs



Capteur C1 (toutes fréquences confondues)



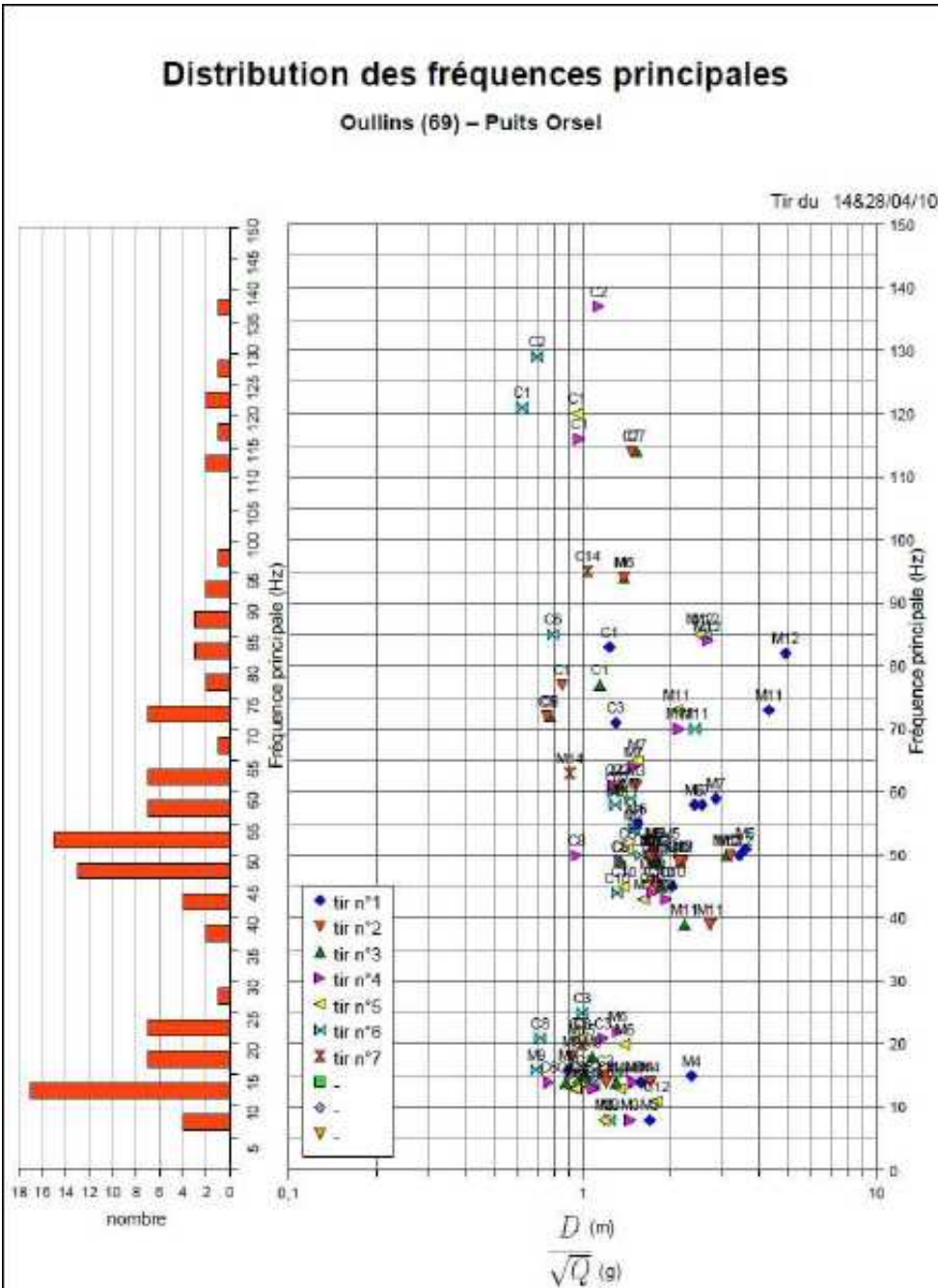
Capteur C1 (fréquences < 30 Hz)

Pour le capteur C1, au delà de 22 m (en distance directe entre le tir et le capteur) pas de dépassement de seuil constaté.

Dans ce contexte granitique, pas de problème avec les basses fréquences (< à 30 Hz)



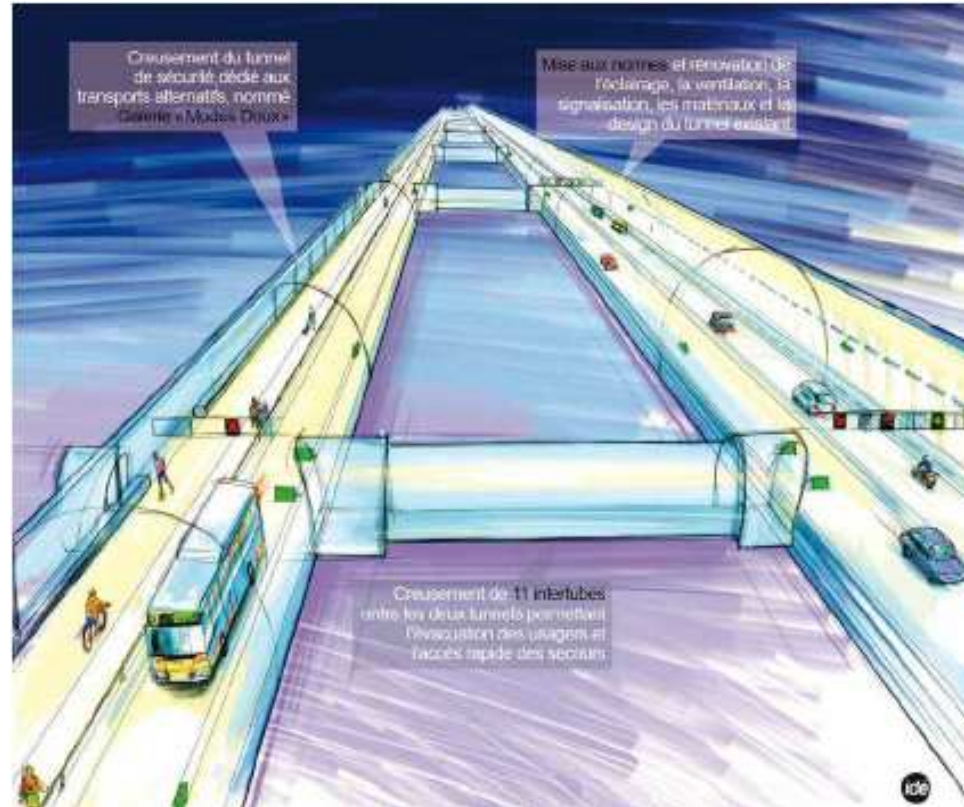
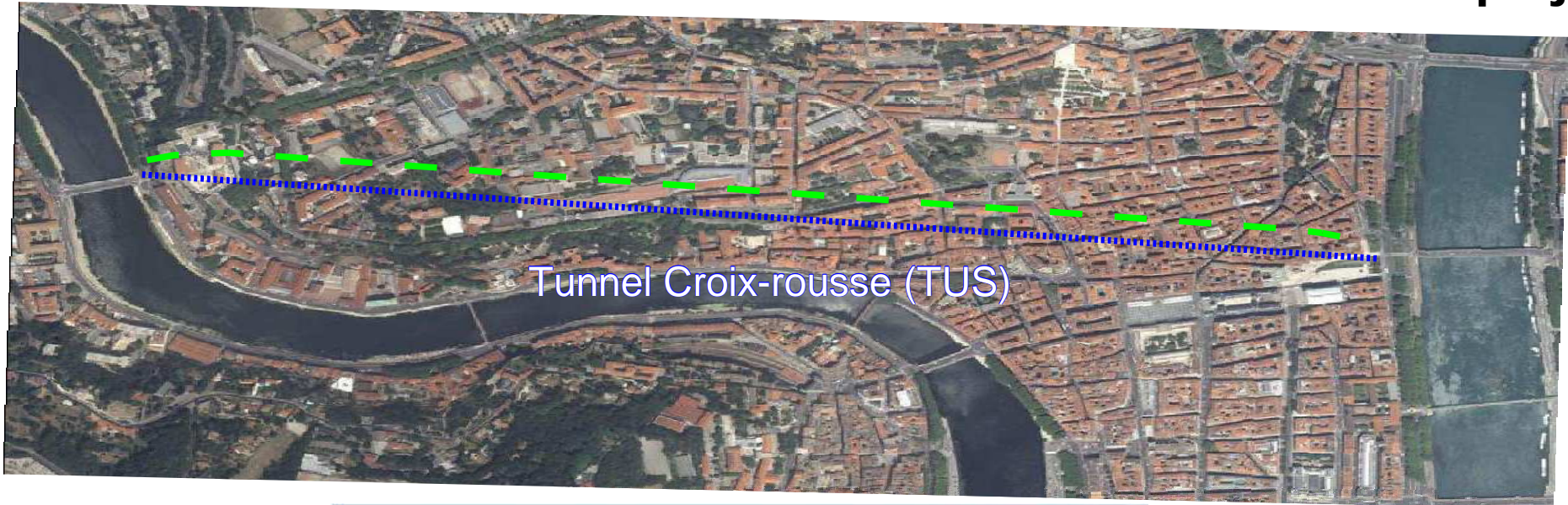




Deux groupes de fréquences:

-entre 5 et 25 Hz

- entre 45 et 75 Hz





Dans le cadre d'un marché de Conception Réalisation, le Maître d'ouvrage a confié à un groupement d'entreprises, la rénovation complète du tunnel existant, et la réalisation de cette galerie, raccordée par des rameaux de jonction servant de secours.

La galerie de sécurité, ou tube Nord, sera un Ouvrage de 1760 mètres relié au tube existant par 11 rameaux de communication.

- Section  $\approx$  80 m<sup>2</sup>
- entre 15 et 30 mètres du tunnel routier

#### - SEUIL DE VIBRATION

Ouvrage concerné	Seuil de travail	Seuil absolu
Corps de structure principal (rocher)	15mm/s < 30Hz 30 mm/s toutes fréquences confondues	25 mm/s < 30Hz 50 mm/s toutes fréquences confondues
Dalle de ventilation	5 mm en déplacement toutes fréquences confondues	8 mm en déplacement toutes fréquences confondues
Bâti environnant (application de la circulaire du 23/07/86)	Classe bâti : construction résistante, sensible, très sensible 6, 9 ou 12 mm/s < 30Hz suivant la sensibilité du bâti 9, 12 ou 15 mm/s toutes fréquences confondues suivant la sensibilité du bâti	

# Tunnel de Croix-Rousse

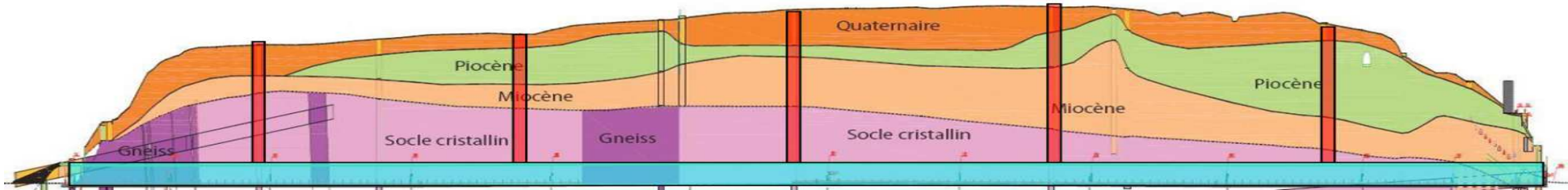
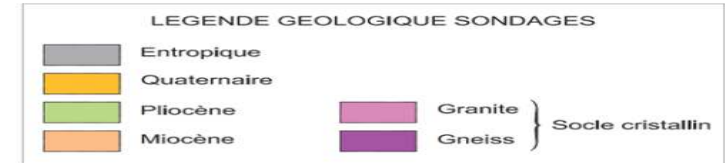


**Entrée en terre**  
Tête Saône



Tête Rhône





	ATTAQUE TÊTE SAÔNE (2011)							ATTAQUE TÊTE RHÔNE (2011)					
PMC (Excavation)	182 à 267,5	272,5 à 292	296 à 368,5	371 à 384	388 à 565	570 à 738	743 à 1071	1104 à 1252	1256 à 1305	1305 à 1480	1480 à 1524	1524 à 1544	1544 à 1705
Méthode	Explosif	Explosif	Explosif	Explosif	Explosif	Explosif	Explosif	Explosif	Explosif	Explosif	Explosif	Explosif	Ponctuelle
Tirs (exploités)	36 à 45 (ATS)	63 à 67 (ATS)	68 à 87 (ATS)	88 à 91 (ATS)	92 à 139 (ATS)	140 à 177 (ATS)	178 à 242 (ATS)	78 à 118 (ATR)	68 à 77 (ATR)	23 à 65 (ATR)	10 à 22 (ATR)	1 à 7 (ATR)	-
Géologie	Granite			Gneiss				Granite					Granite / Argiles
Résistance	Rc2	Rc3	Rc1 à Rc2	Rc2 à Rc4	Rc2	Rc3	Rc1 à Rc2	Rc1 à Rc2	Rc5	Rc1 à Rc2	Rc2 (Rc4 loc.)	-	-
Altération	AM1b	AM2 / AM3	AM1a	AM2 à AM3	AM1b à AM2	AM1b à AM3	AM1b	AM1a-AM1b	AM3	AM1b	AM3 à AM4	-	-
Discontinuités	ID2	ID3 à ID4	ID2	ID3 à ID5	ID3	ID3 à ID4	ID2 à ID3	ID2	ID5	ID2 à ID3	ID3 (ID4 loc.)	-	-
Classe RMR	II	III (à IV)	II	III à IV	II (à III)	III à IV	II (à III)	II	III	II	III à IV	IV	-

La géologie de la colline de la Croix Rousse est constituée:

- Quaternaire (couches de sable grossier renfermant des niveaux à galets hétérogènes),
- Pliocène et du Miocène (sable plus ou moins limoneux ou argileux et cailloutis avec quelques galets et blocs) recouvrant un socle cristallin.

Les formations superficielles représentent un ensemble d'une trentaine de mètres d'épaisseur au maximum, avec des épaisseurs moyennes pouvant varier entre quelques mètres et une quinzaine de mètres.

# Dispositif de mesure des vibrations Essai de tirs - Tête saône





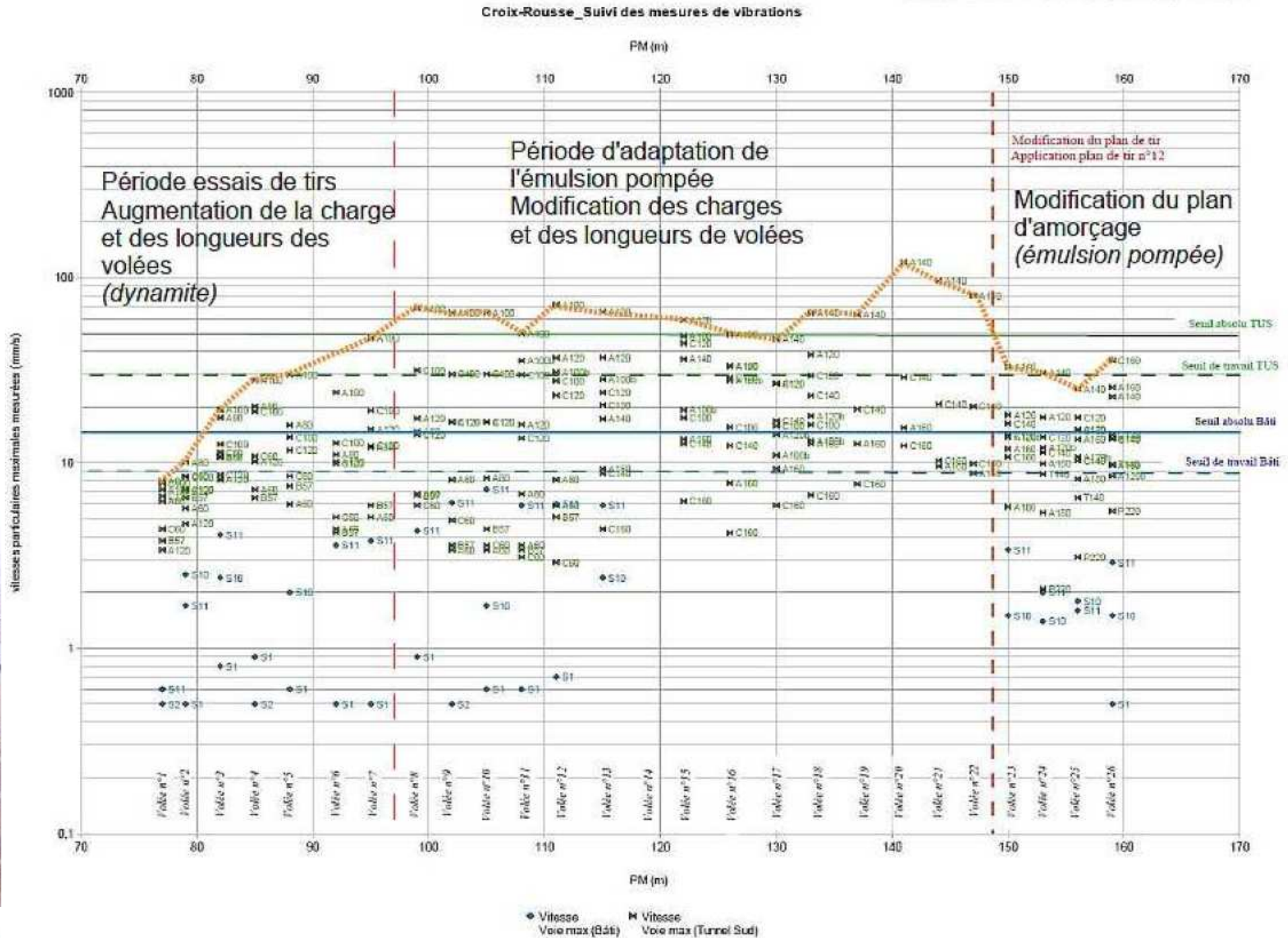
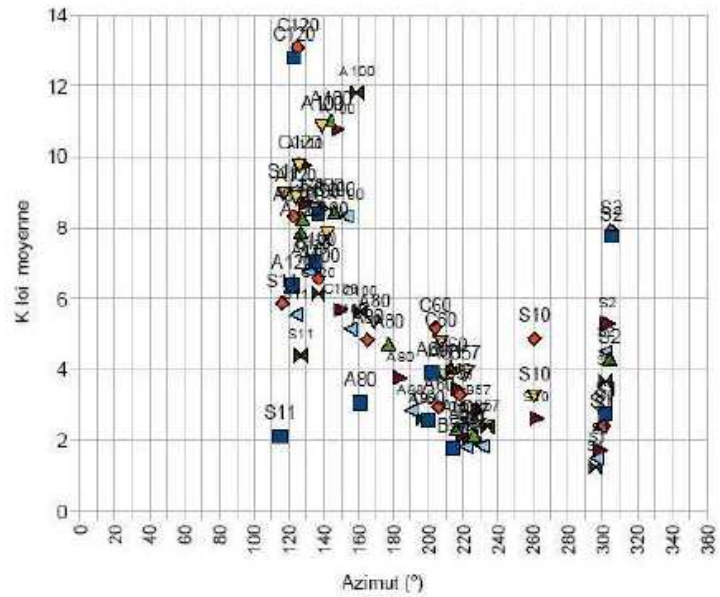
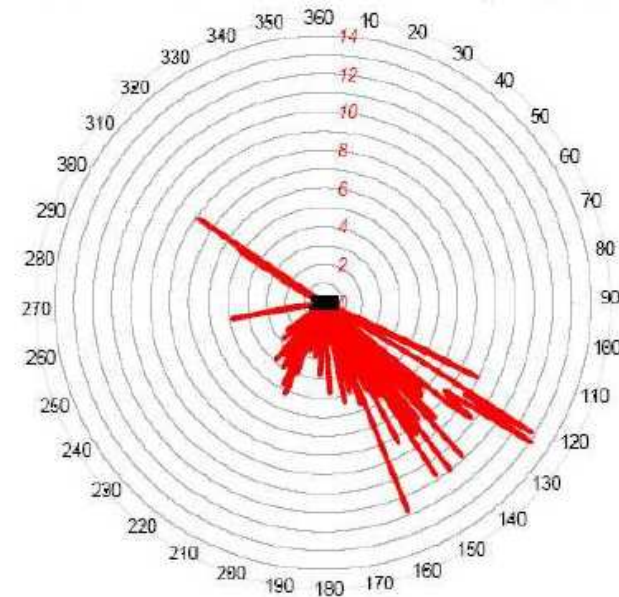




Diagramme de distribution des coefficients K par capteur

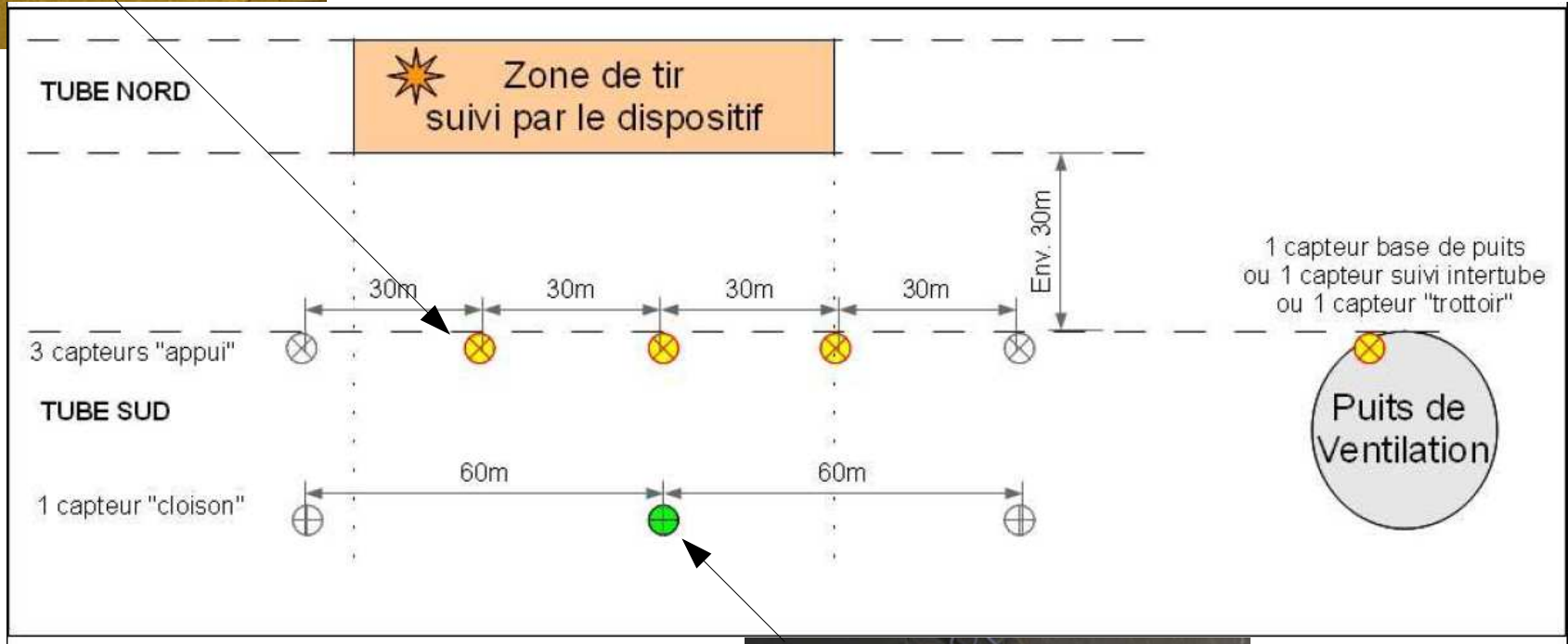
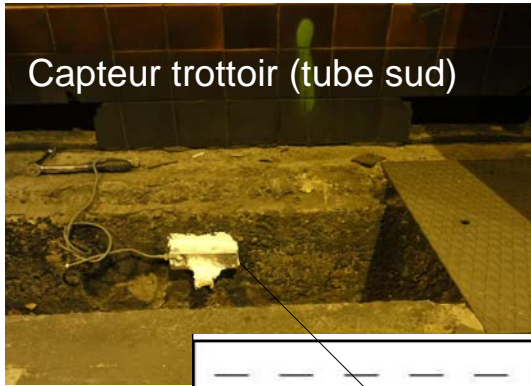


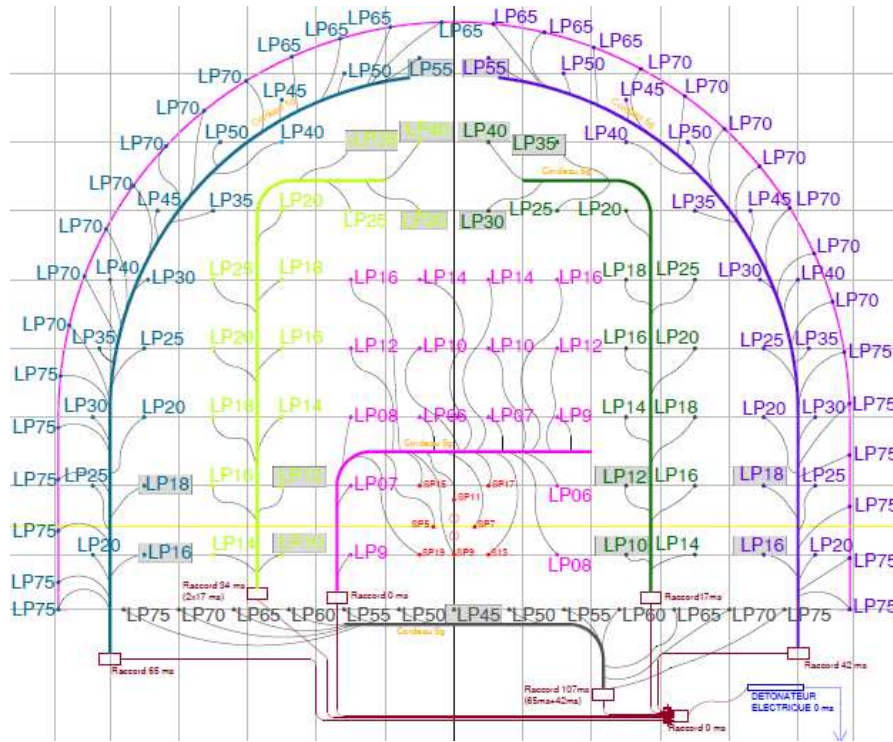
Rosace de distribution des coefficients K par capteur



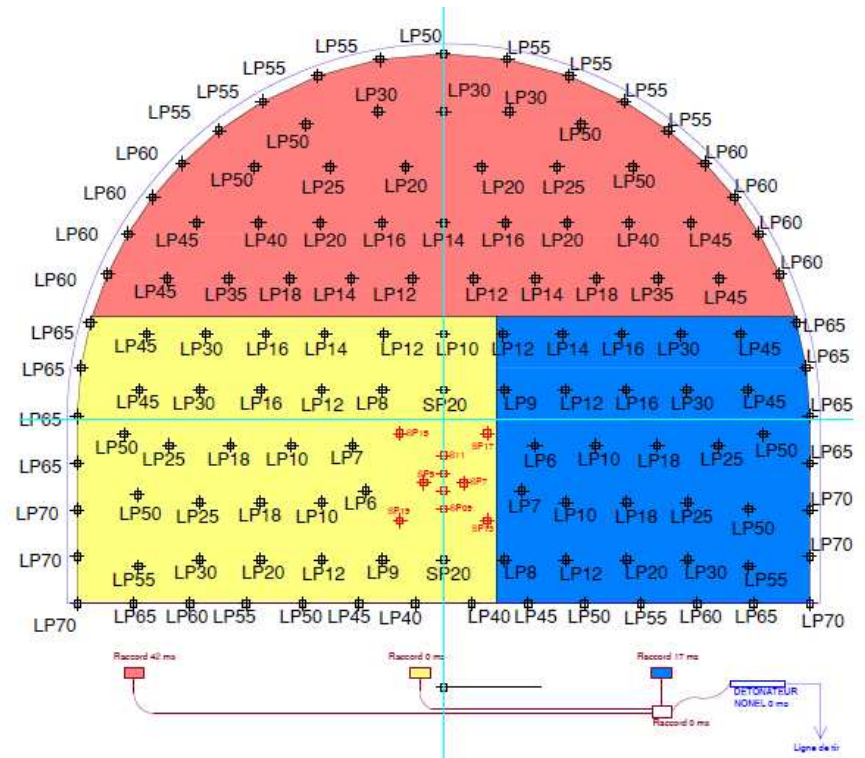


# Dispositif de mesure des vibrations tunnel routier (dalle et trottoir)



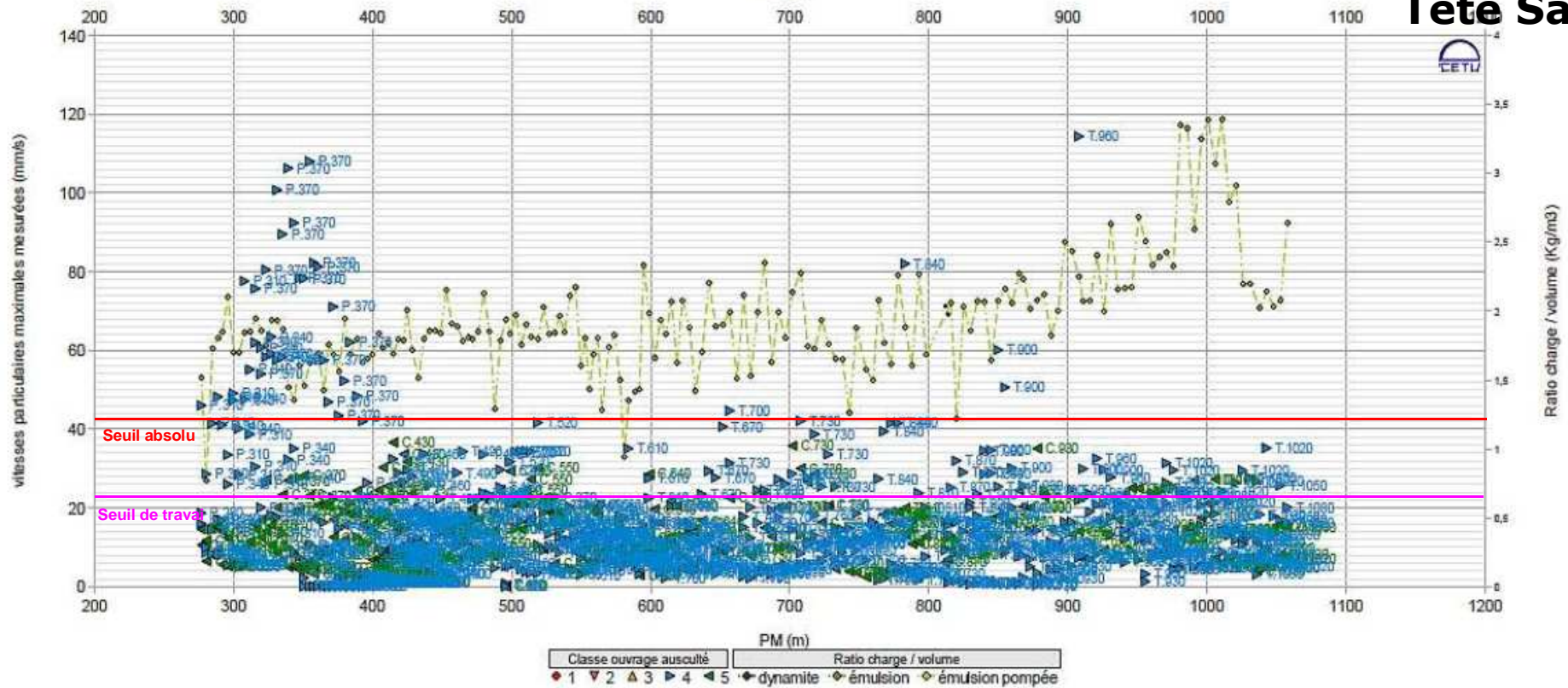


5 lignes

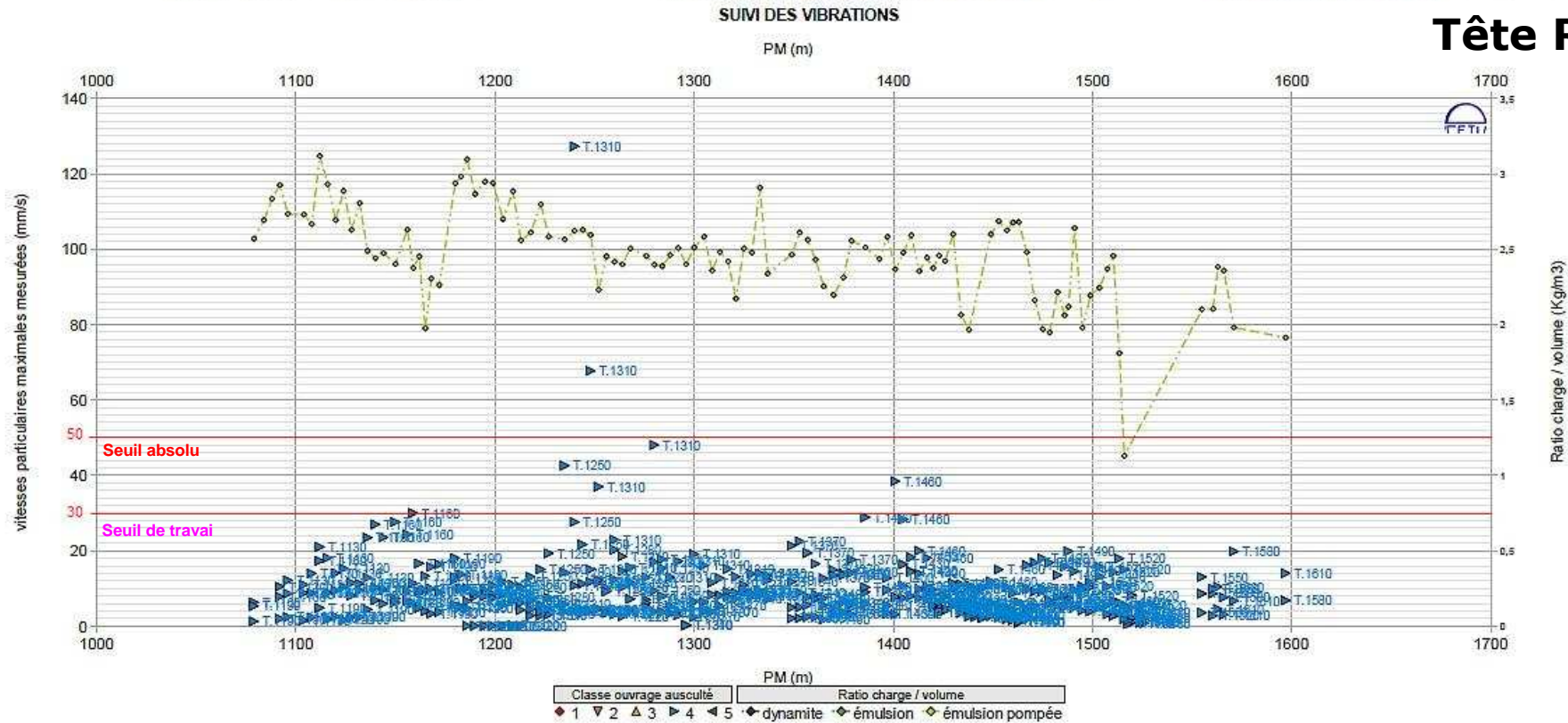


3 lignes





- La liaison avec le côté Rhône s'est effectuée après 242 tirs
- Les 350 premiers mètres ont conduit à l'optimisation de 14 plans de tir
- L'excavation a été réalisée avec un ratio d'explosif moyen de l'ordre de 1,8 Kg/m<sup>3</sup> pour des volées de 4,30 et 5 mètres jusqu'au PM 900 puis une augmentation du ratio allant jusqu'à 3,4 Kg/m<sup>3</sup> dans du granite de meilleur qualité.
- les valeurs de déplacement sur la dalle ont varié entre 20 et 790 microns
- 17% de dépassement des seuils (jusqu'au PM 350)



- Le creusement du côté Rhône ne représentait qu'un tiers du total de l'excavation de la galerie.
  - 118 tirs effectués
  - La courbe nous indique un ratio moyen de 2,4 Kg/m<sup>3</sup> d'explosif et localement un ratio de 3 Kg/m<sup>3</sup> pour les volées de 5 mètres situées dans des zones de granite massif et sain.
  - vitesses particulières en-dessous de 20 mm/s toutes fréquences confondues.
- Déplacement dalle de ventilation d'air frais : 160 microns.



# Excavation tunnel Nord Côté rhône

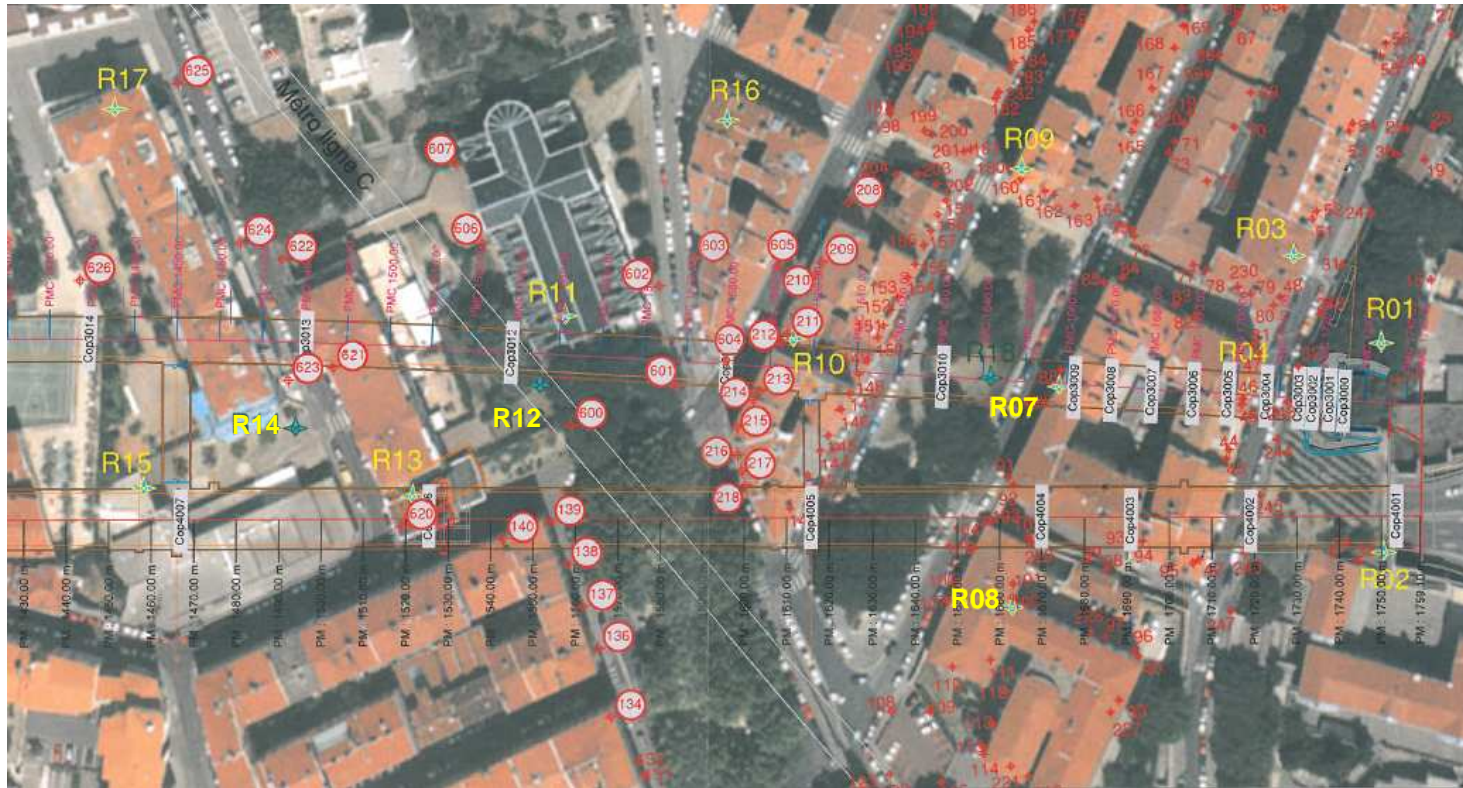
galerie souterraine en voûte  
( arête de poisson)



Ces galeries souterraines ont été, jusqu'à un passé relativement récent, la source de fontis et d'instabilités en surface.

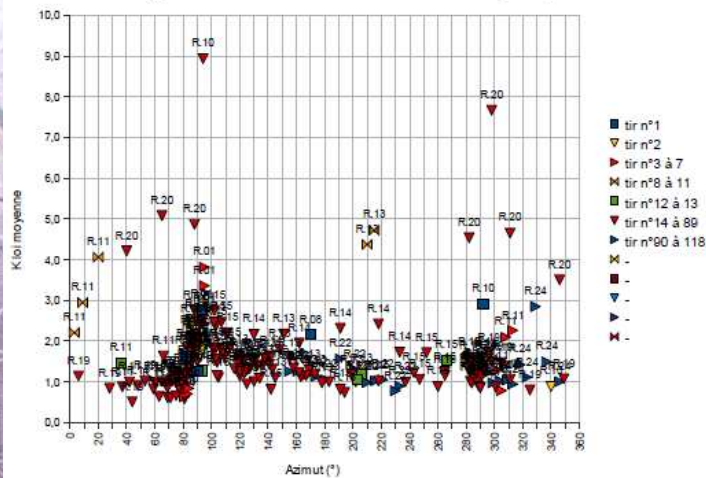




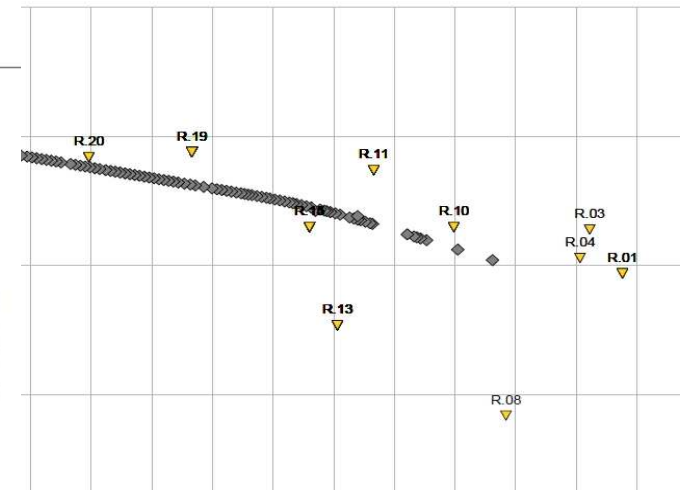
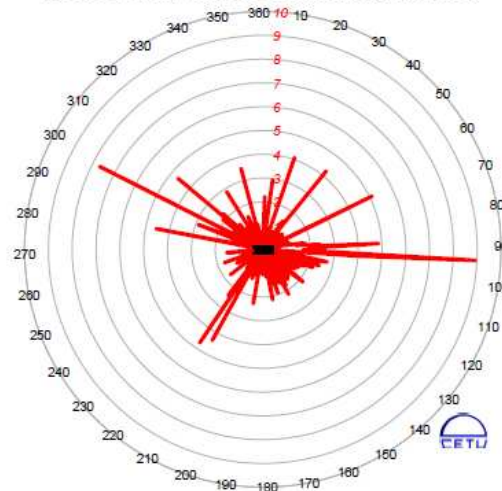


Directions préférentielles de propagation des vibrations

Diagramme de distribution des coefficients K par capteur

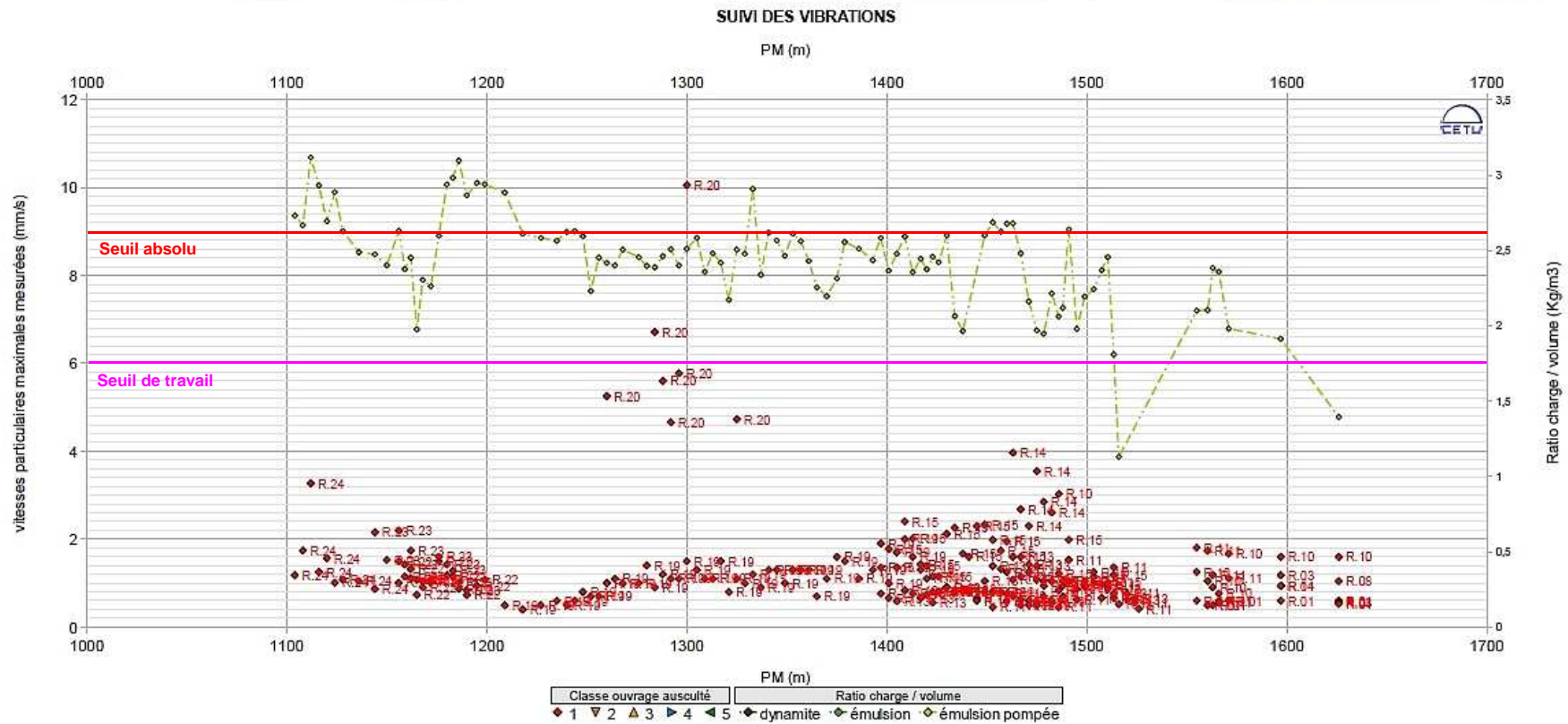


Rosace de distribution des coefficients K par capteur

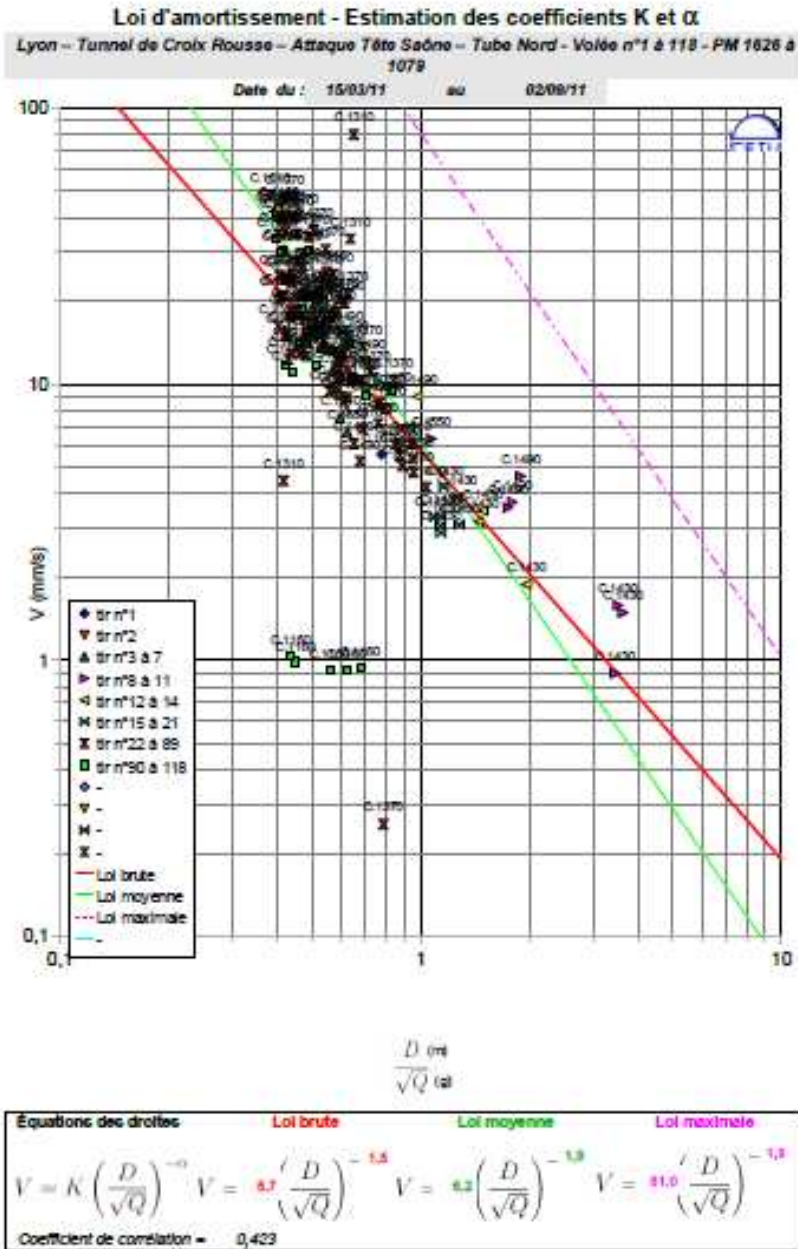


Implantation des tirs et capteurs





- Le positionnement des géophones encadrant le tracé du creusement de la galerie ont permis un suivi des vibrations sur le bâti en surface.
- scellés au plâtre dans les sous sol des immeubles sur les murs porteurs.
- Les valeurs enregistrées ont oscillées entre 1 et 6 mm/s



Les lois d'amortissement du site permettent de dire que la retransmission des vibrations au sein du massif peut être classé de faible à moyen. Les coefficients de site de la dalle ( $K$ =de 2,2 à 8,6) sont légèrement supérieurs à ceux du trottoir ( $K$ =de 2 à 5,7).

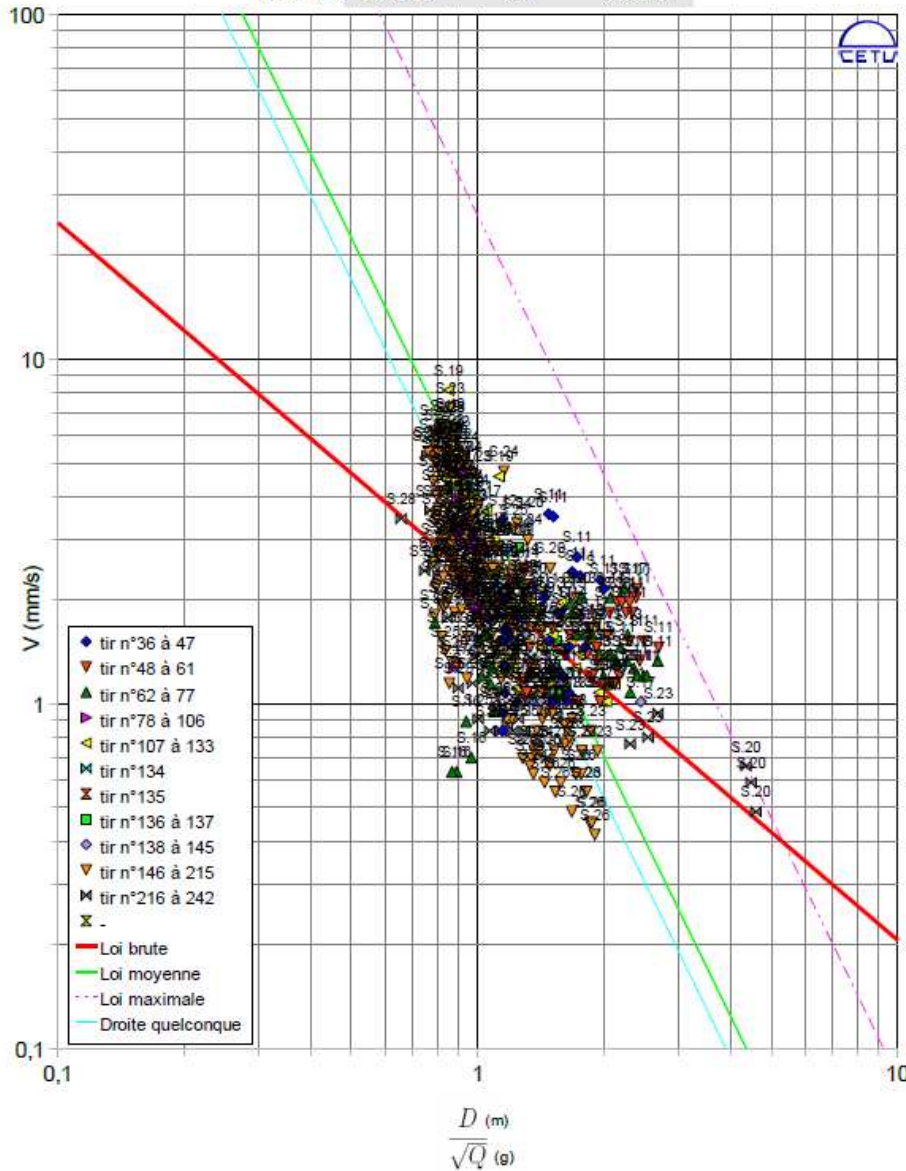
Le coefficient  $\alpha$  caractérisant l'atténuation des ondes est compris entre 1,5 et 3 ce qui révèle un massif assez compact sur son ensemble.



## Loi d'amortissement - Estimation des coefficients K et $\alpha$

Lyon - Tunnel de Croix Rouse - Attaque Saône - Plateaux - Volée n°36 à 242 - PM 177,5 à 1026

Date du : 03/01/11 au 19/08/11



Les lois d'amortissement établies selon le zonage géologique ont des coefficients de site faibles de l'ordre de :

- K = 1,9 côté rhône
- K = 6,5 côté saône.

Il est à remarquer que en présence d'une couverture ( $\approx 80$  mètres) constituée de conglomérats, sables fins et galets au-dessus du granite, on obtient des coefficients alpha compris entre 2 et 3,5 témoignant d'un amortissement rapide des vibrations.

Équations des droites	Loi brute	Loi moyenne	Loi maximale
$V = K \left( \frac{D}{\sqrt{Q}} \right)^{-\alpha}$	$V = 2,3 \left( \frac{D}{\sqrt{Q}} \right)^{-1,0}$	$V = 4,0 \left( \frac{D}{\sqrt{Q}} \right)^{-2,5}$	$V = 26,1 \left( \frac{D}{\sqrt{Q}} \right)^{-2,5}$
Coefficient de corrélation =	0,350		

La propagation des vibrations est intimement liée à la nature et à la disposition des terrains. Une bonne connaissance du contexte géologique permet une meilleure compréhension et analyse des phénomènes vibratoires enregistrés.

L'utilisation de l'explosif en site urbain est souvent redouté (contrainte réglementaire pour son utilisation, gêne occasionné aux riverains) mais avec une technologie et des plans de tirs adaptés, le bâti environnant peut être préservé.

Les reconnaissances (essais de tir) et la communication auprès des riverains sont des phases primordiales avant le démarrage du chantier.

**Merci de votre attention**