

# LES RECOMMANDATIONS DE L'AFTES

WEBINAIRE  
22-23 septembre 2020

Vibrations générées  
par les tirs de mines :  
guide pour la détermination des seuils de  
vibration lors des études d'avant-projet

Sophie Duclos



# Sommaire



- Cette recommandation est un guide d'évaluation des seuils de vibrations à partir de l'étude d'avant projet.

1. Introduction
2. Partie 1 : Termes et définitions
3. Partie 2 : Milieu environnant
4. Partie 3 : Définition des seuils et étude de vibration

# Introduction

L'analyse des vibrations en phase d'avant-projet va permettre l'identification des nuisances potentielles, mais aussi fournir des informations essentielles pour les étapes ultérieures de conception des plans de tir.

Les vibrations sont dues à la propagation d'ondes mécaniques élastiques dans différents milieux dont la source est constituée par la détonation de la matière explosive.

La majeure partie de l'énergie produite par l'explosion est consacrée à la fracturation du massif rocheux tandis que l'énergie résiduelle se dissipe en partie sous forme de vibrations.

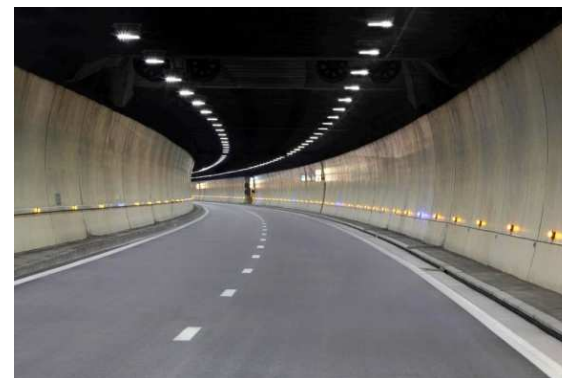
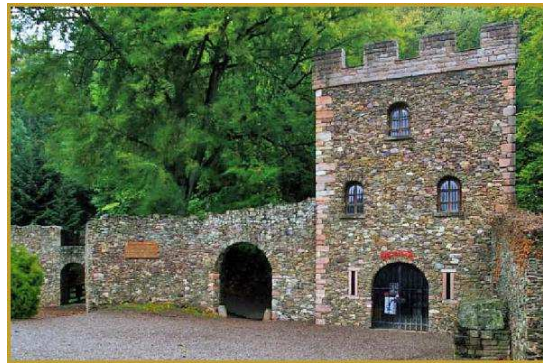
**Les vibrations sont donc indissociables de l'utilisation d'explosifs lors des tirs de mines**

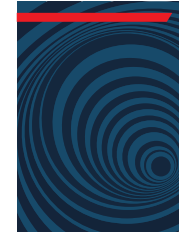


# Introduction

Les réponses des sollicitations sur les constructions sont fonction :

- De la nature des terrains traversés par les vibrations,
- des différents types de constructions (matériaux, géométrie...)
- de la nature des fondations





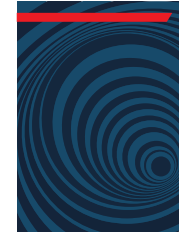
# Partie 1 : Rappels et définitions

- Termes et définitions, nous avons rappelé un certain nombres de termes utilisés plus loin dans le texte. Le but étant ici d'utiliser les mêmes définitions que le vocabulaire normatif
- Rappel des documents de références. Il s'agit des textes réglementaires, des normes et des documentations professionnels.

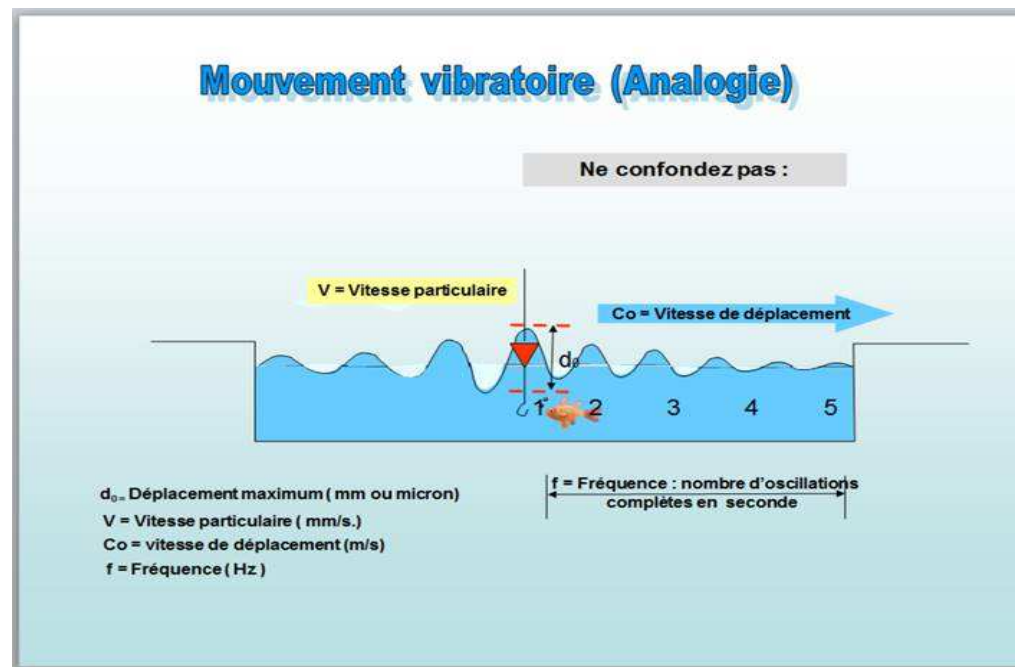
## Textes réglementaires

1. Arrêté du 22/09/94 relatif aux exploitations de carrières et aux installations de premier traitement des matériaux de carrière.
2. Circulaire n° 96-52 du 02/07/96 relative à l'application de l'arrêté du 22/09/94 relatif aux exploitations de carrières et aux installations de premier traitement des matériaux de carrières.
3. Circulaire 23/07/86 relative aux vibrations mécaniques émises dans l'environnement par les installations classées pour la protection de l'environnement.

# Partie 1 : Rappels et définitions

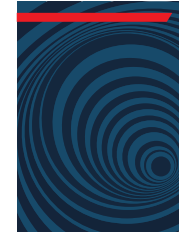


- Rappel sur les vibrations.
- Les vibrations sont des ondes mécaniques. Il n'y a pas de déplacement de matière mais transport d'énergie

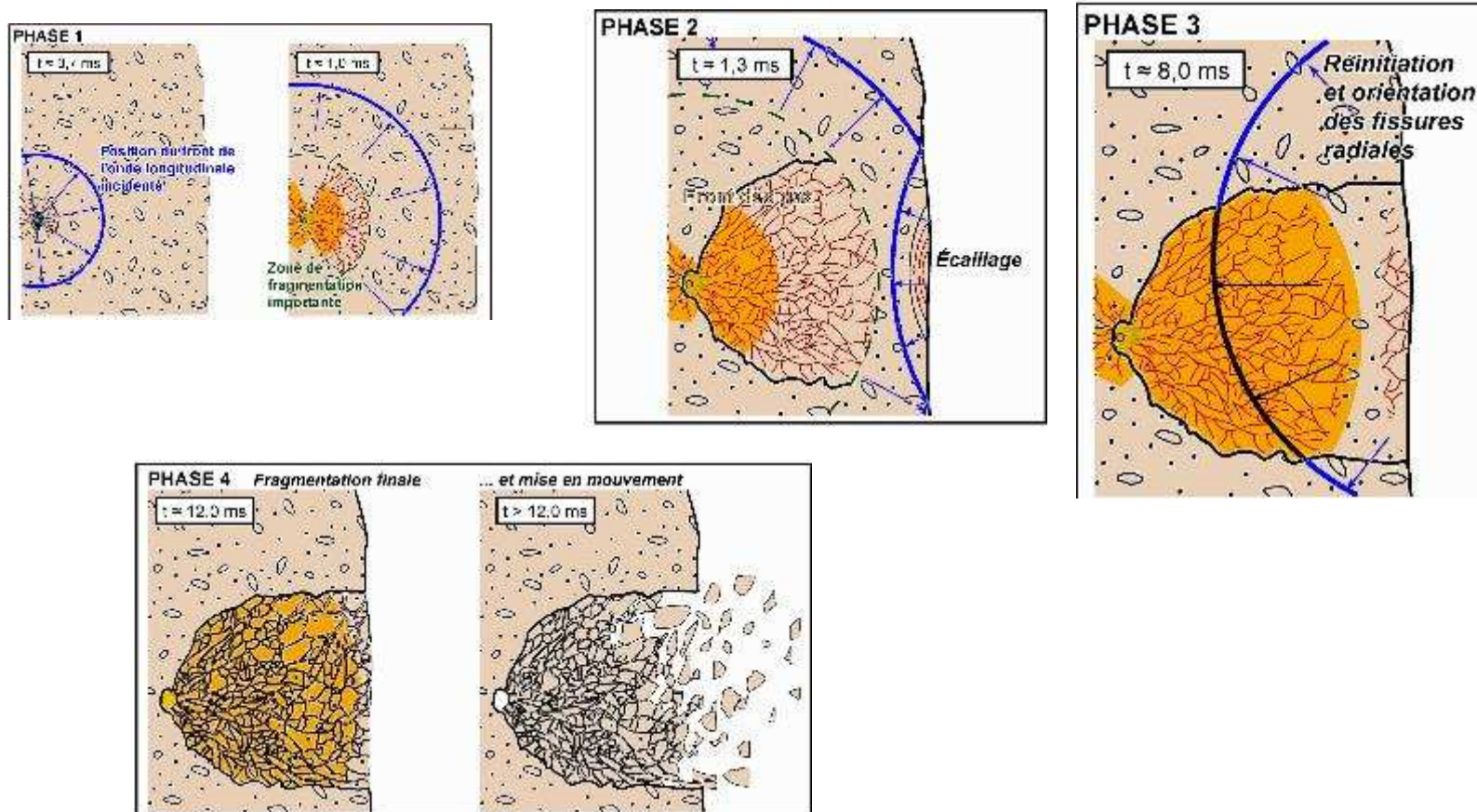




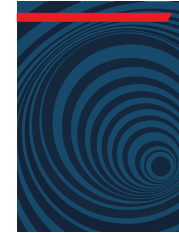
# Partie 1 : Rappels et définitions



## ■ Rappel sur les vibrations.



# Partie 1 : Rappels et définitions



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

Avec :

V = vitesse de vibrations en mm/s

D = distance au tir en mètres

$\alpha$  = coefficient d'atténuation des ondes

Q = charge unitaire en kg

K = coefficient de site.





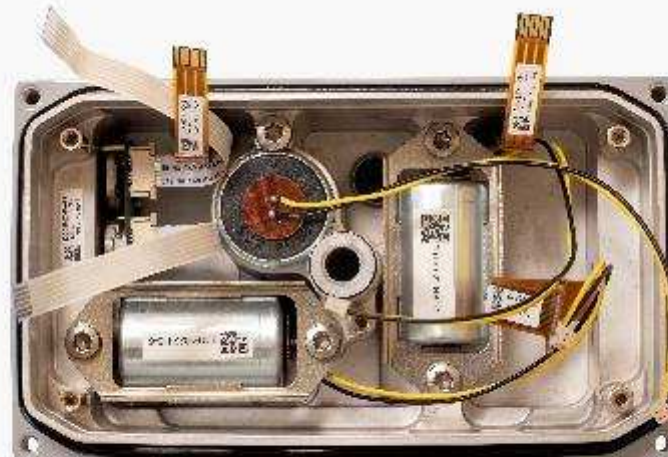
# Partie 1 : Rappels et définitions



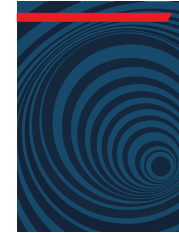
- Indicateurs spécifiques : Les matériels de mesure utilisés sur les chantiers de travaux souterrains pour l'étude des vibrations sont généralement des capteurs de vitesse particulaire. (mesure selon trois directions : Longitudinale, Transversale et Verticale)

**Le signal enregistré sur la centrale d'acquisition correspond à la variation de la vitesse en fonction du temps.**

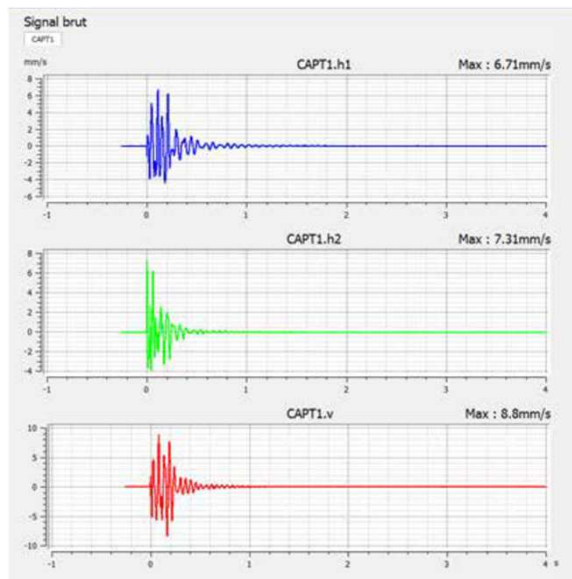
**C'est un signal complexe multifréquentiel**



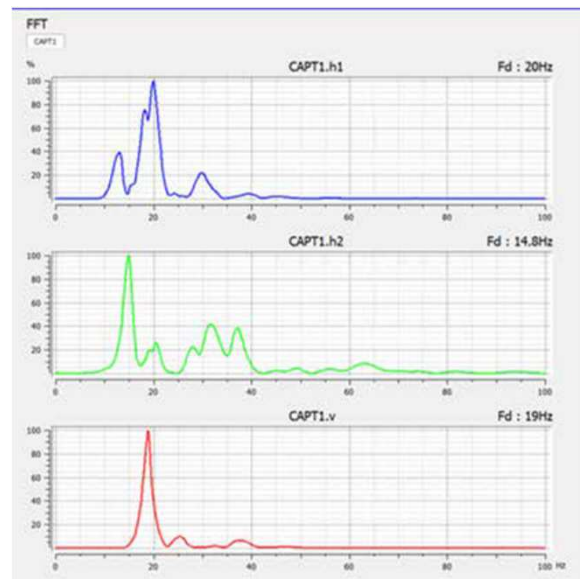
# Partie 1 : Rappels et définitions



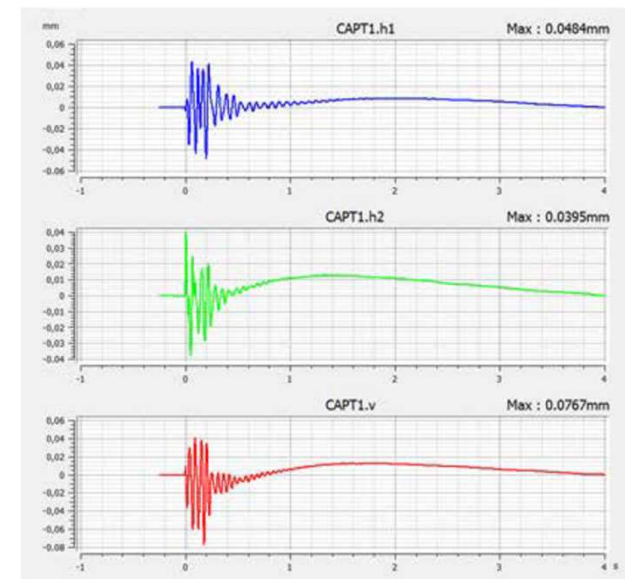
- Indicateurs spécifiques : La notion de désordre sur une construction ou un équipement est fonction du déplacement que celui-ci peut supporter.
- Le matériel disponible sur les chantiers ne permet pas la mesure directe du déplacement.



Vitesse

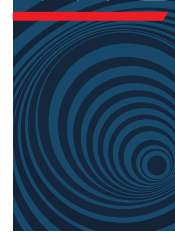


Spectre de  
fréquence



Déplacement

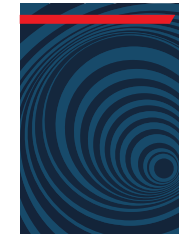
# Partie 2 : Milieu environnant



- Trois éléments importants interviennent dans la réaction d'une construction sous les effets des vibrations :

- 1-la nature du terrain
- 2-les fondations
- 3-la nature de l'ouvrage





# Partie 2 : Milieu environnant

## Nature des terrains

L'incidence de la géologie a un fort impact sur la propagation des vibrations entre la source (le tir de mine) et la construction à surveiller.

Certaines propriétés des terrains vont favoriser la propagation des ondes alors que d'autres vont les atténuer.

Le tableau ci-dessous reprend les principales propriétés des terrains et leurs effets sur les vibrations.

Nature des terrains		Incidence de la géologie sur la propagation des vibrations		
Niveau d'incidence		-	+ —	+
Présence d'eau				X
Présence de discontinuité (faille, schistosité, foliation, joints stratigraphiques...)	Parallèle à la direction de propagation des vibrations			X
	Perpendiculaire à la direction de pro- pagation des vibrations	X		
Zone argileuse		X		
Terrain Mixte	Calcaire marneux		X	
	Zones de remblai	X		

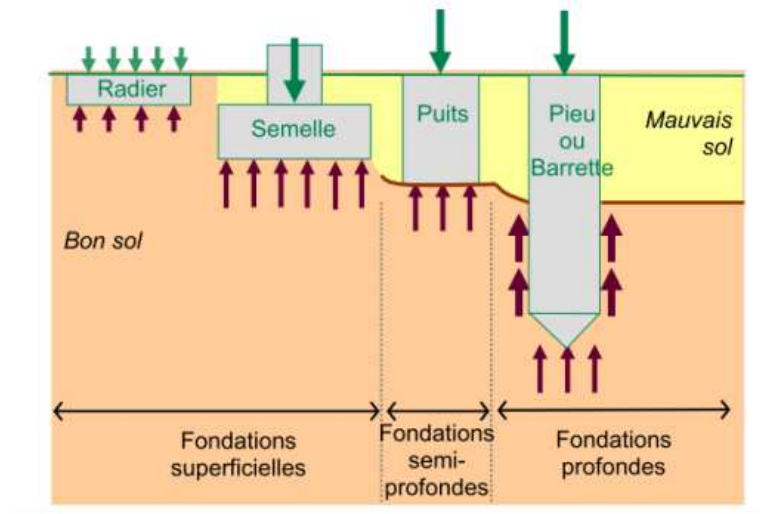
Par la suite l'énergie se transmet à l'ouvrage par les fondations.

La connaissance du milieu abritant les fondations est donc essentielle à la définition de la sensibilité de chaque ouvrage vis-à-vis des vibrations.

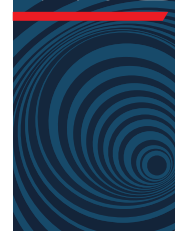
# Partie 2 : Milieu environnant

## Les fondations

- Les fondations : La fondation est la partie inférieure d'une construction enfouie dans le sol, elle est destinée à assurer sa stabilité.
- Différents types de fondations : fondations superficielles, fondations profondes et semi profondes, fondations spéciales.....







# Partie 2 : Milieu environnant

## Les fondations

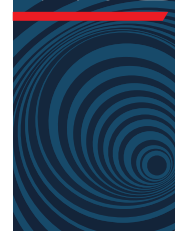
Lorsque le terrain est soumis à des sollicitations extérieures (tirs de mines) il va transmettre ces sollicitations aux constructions via leurs fondations ou leurs surfaces de contact avec le sol

Selon la nature du massif encaissant (sol meuble ou rocher), sa capacité portante, la présence ou non d'eau et des descentes de charges transmises par la construction, les fondations peuvent être de différents types :

- A – Fondations spéciales : radier, pieux ou constructions parasismiques
- B – Fondations courantes : semelle, pieux en béton armé non liaisonnés
- C – Pas de fondation ou fondation inadaptée au terrain : murs de soutènement légers





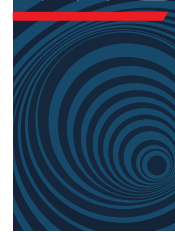


# Partie 2 : Milieu environnant

## Types d'ouvrages

- Les ouvrages se différencient par leurs fondations mais aussi par :
- Leur fonction
- Leurs matériaux de construction
- Leur géométrie
- Valeur architecturale, historique..

**Tous ces paramètres vont influencer sur la réponse de la construction à une sollicitation vibratoire donnée. Ils doivent impérativement être pris en considération dans la définition des points de mesure et des seuils à appliquer**



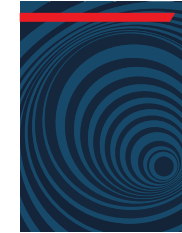
# Partie 2 : Milieu environnant

## **Sensibilité des constructions**

- A partir de ces critères, la circulaire définit trois ensembles de construction :
- 1- Les constructions résistantes : Classe 1 à 4
- 2- Les constructions sensibles : Classe 5 à 8
- 3- Les constructions très sensibles : classe 9 à 14

Pour les tirs de mines, on préférera définir les quatre familles de sensibilité suivantes :

- A- Constructions très peu sensibles : classe 1 à 3
- B- Constructions peu sensibles : classe 4 à 7
- C- Constructions sensibles : Classe 8 à 11
- D- Constructions très sensibles : Classe 12 à 14



## Partie 2 : Sensibilité des ouvrages

- Grâce à l'analyse des éléments décrit précédemment, la maîtrise d'ouvrage et le maître d'œuvre détermineront la classe de sensibilités aux déplacements des ouvrages.

Catégorie des seuils de déplacement	Type de construction
Supérieur à 500 micromètres	Très peu sensible
320 à 500 micromètres	Peu sensible
160 à 320 micromètres	Sensible
Inférieur à 160 micromètres	Très Sensible

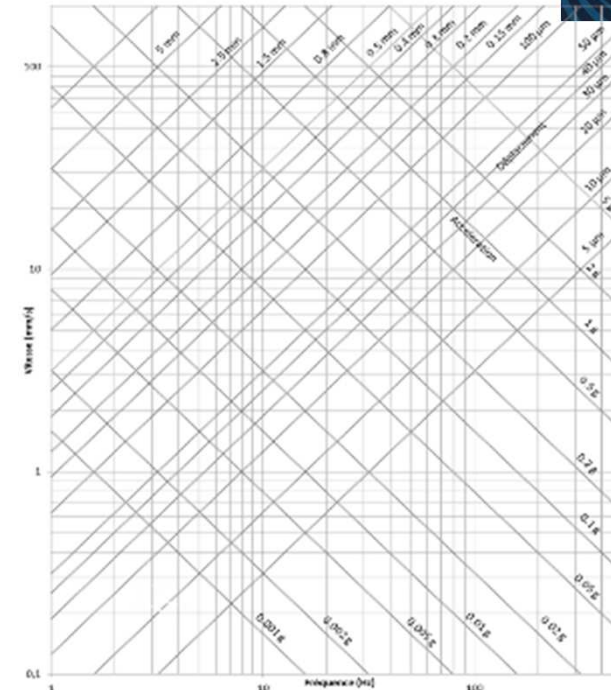
**Valeurs indicatives données à titre d'illustrations**  
**Elles doivent être associées à la fréquence propre de l'ouvrage**

*Au démarrage de l'étude, la sensibilité de chaque ouvrage au déplacement doit être définie. On estime ensuite la fréquence propre de l'ouvrage qui correspond au domaine de sensibilité de celui-ci.*

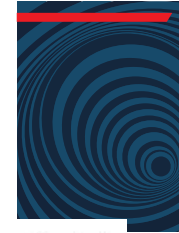
# Partie 3 : Définition des seuils et étude de vibration



- Préconisation pour la définition des seuils
- Pour chaque ouvrage considéré, en fonction de sa fréquence propre associée au seuil en déplacement (en relation avec la sensibilité de cet ouvrage), on va fixer les seuils de vitesses particulières en fonction de la fréquence.
- Le nomogramme qui suit permettra de définir les seuils de vibrations applicables sur les ouvrages.
- Une fois le couple fréquence propre / déplacement positionné sur le graphique, on définit une zone d'exclusion.
- Les seuils peuvent être définis :
  - A déplacement constant
  - A vitesse constantes par palier sur des plages de fréquences prédéfinies

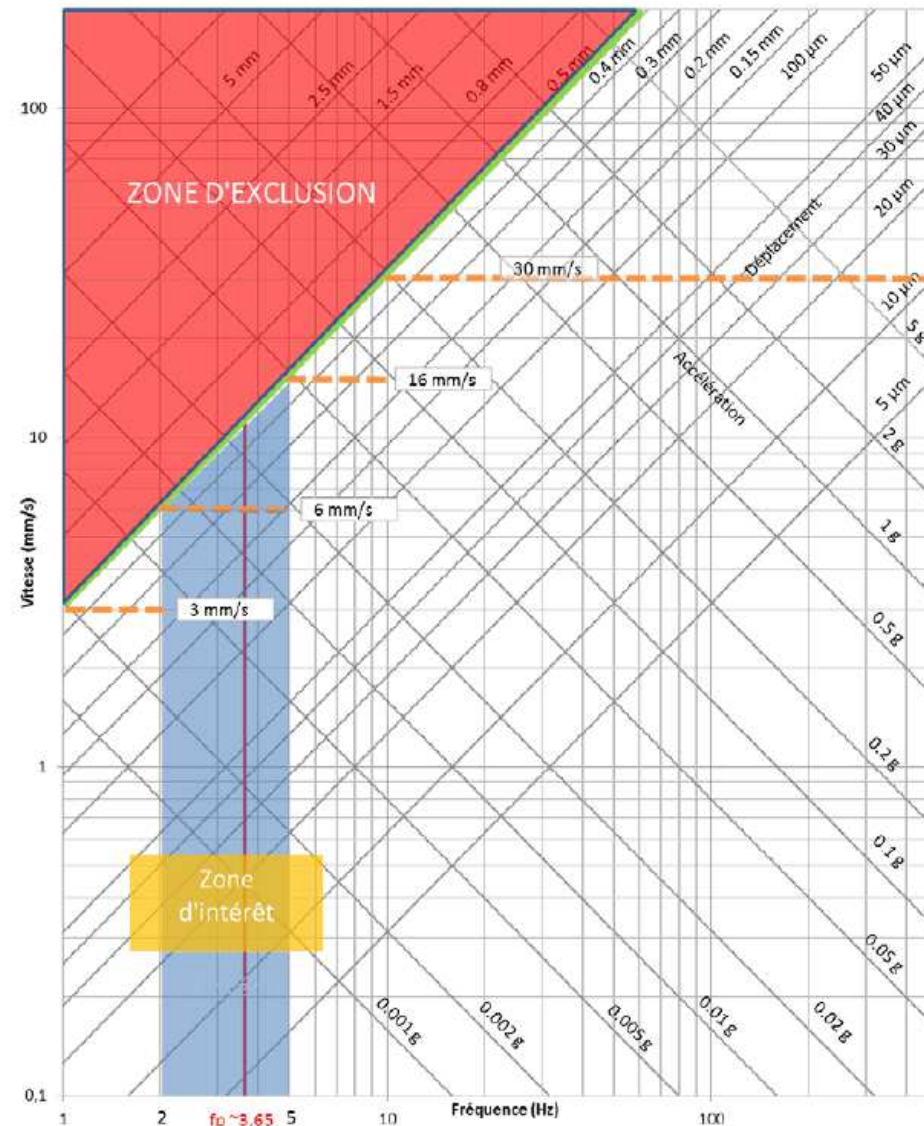


# Partie 3 : Définition des seuils et étude de vibration

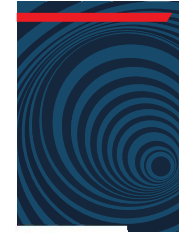


- Exemple d'une structure résistante
- 30 mètres de haut
- 20 mètres de large
- Fréquence propre de l'ordre de 3,65 Hz

L = largeur de la structure  
H = hauteur de la structure

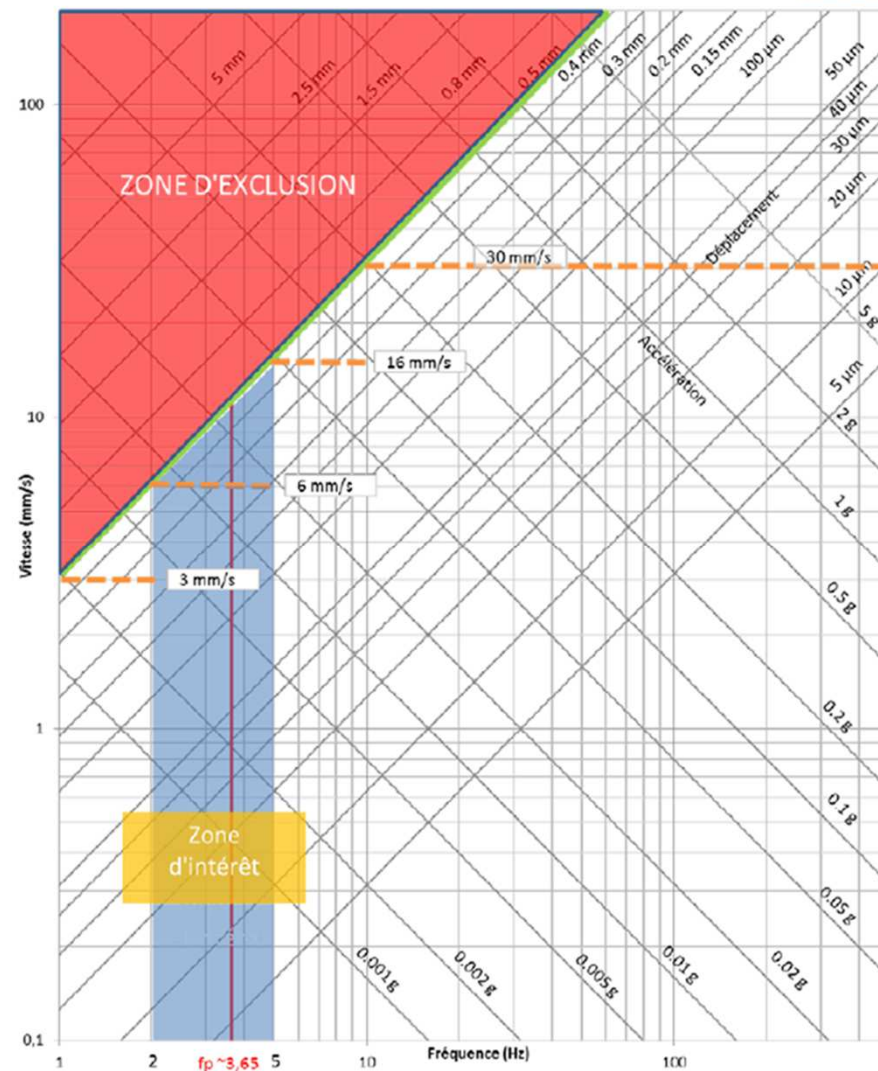


# Partie 3 : Définition des seuils



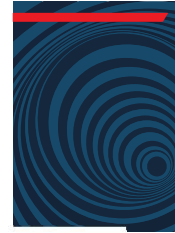
## Déplacement à 500 microns

- Pour un contrôle à déplacements constants, les valeurs de vitesses enregistrées doivent se situer au-dessous de la ligne verte.

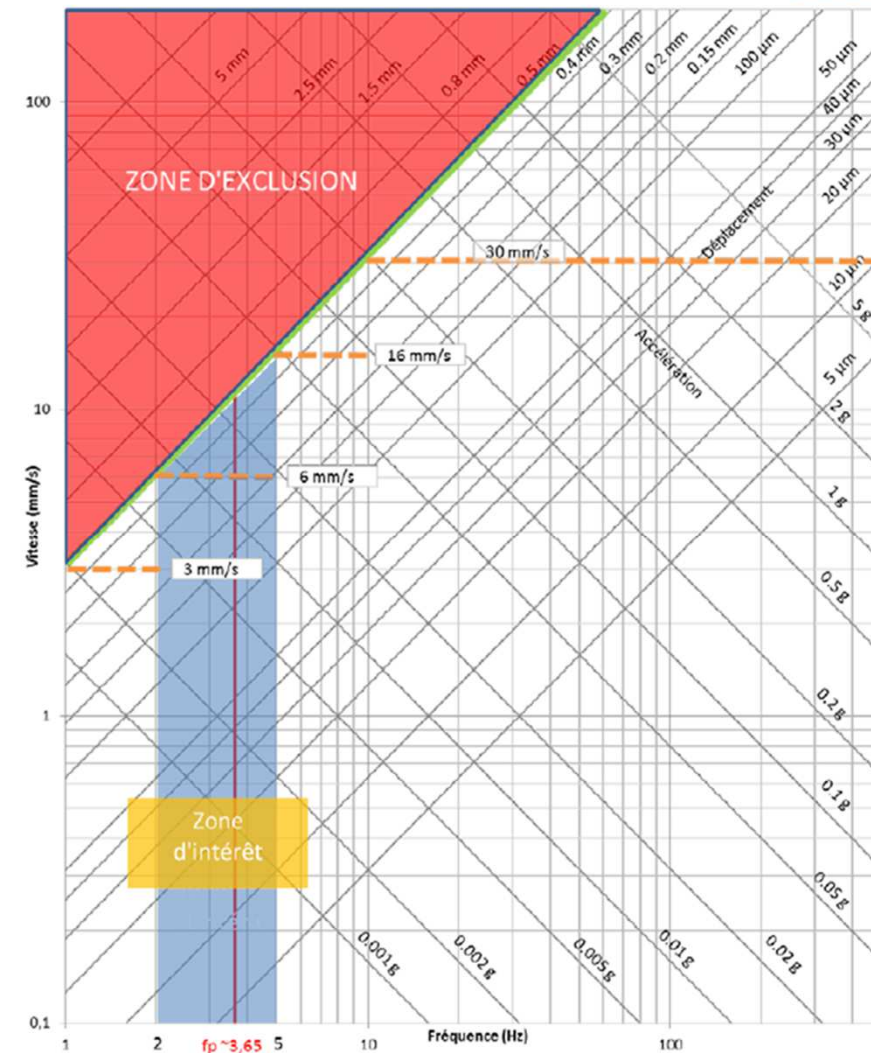




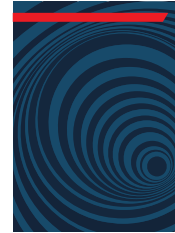
# Partie 3 : Définition des seuils



- Pour un contrôle par palier à vitesse constante sur des plages de fréquences
- 3 mm/s entre 1 et 2 Hz
- 6 mm/s entre 2 et 5 Hz
- 16 mm/s entre 5 et 10 Hz
- 30 mm/s pour des fréquences supérieures à 10 Hz



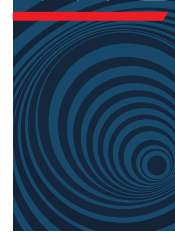
# Partie 3 : Définition des seuils et étude de vibration



- **Les études de vibration**
- Deux études vibratoires sont à réaliser :
- 1-Les tirs de reconnaissance vibratoire
- 2-Les tirs de validation

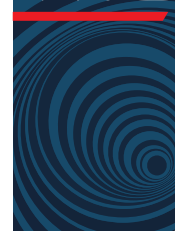


# Partie 3 : Définition des seuils et étude de vibration



- **Les tirs de reconnaissances vibratoires**
- L'objectif des tirs de reconnaissance vibratoire est de confirmer la pertinence de l'utilisation de l'explosif pour le creusement du tunnel, puis d'évaluer l'ensemble des paramètres nécessaires à l'élaboration de la méthodologie de creusement.
- Il s'agit des tirs réalisés au cours des études de projet préalable à l'établissement du DCE.
- Cette campagne permet de définir :
  - La localisation des points de mesure
  - Première approximation de la loi d'amortissement (charge instantanée maximale d'explosif pouvant être mise en œuvre).
- Ces éléments sont essentiels pour l'élaboration des plans de tirs prévisionnels lors de l'étude du chantier.

# Partie 3 : Définition des seuils et étude de vibration

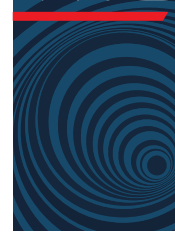


- **Les tirs de reconnaissances vibratoires**

- Ces tirs de reconnaissance consistent à :

- Réaliser des forages au plus près du futur ouvrage, afin de se placer dans le même contexte géologique,
- Réaliser la mise à feu de charges, confinées au fond de ces forages. On pratique en général ces reconnaissances avec des petites charges d'explosifs dans des forages isolés.
- Mesurer à proximité de cette explosion, à l'aide de capteurs tridirectionnels (transducteurs), les vitesses particulières générées par les tirs sur les points instrumentés

# Partie 3 : Définition des seuils et étude de vibration



## ■ Tir de validation

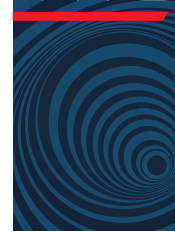
Ces tirs sont réalisés au démarrage des travaux, ils sont instrumentés avec des capteurs.

L'étude des résultats de ces tirs permet de vérifier la loi d'amortissement en situation réelle et de définir des points de contrôle.

Ce sont des tirs de production sur des volées partielles ou réduites.

Cette étude va permettre l'analyse des vibrations et la validation de la méthode de tir





# Conclusions

- Il est nécessaire de réaliser avant les travaux au stade de l'avant projet des tirs de reconnaissance vibratoire qui permettront de définir :
  - La validité de l'emploi de l'explosif pour le chantier à réaliser.
  - Une approximation de la loi de propagation dans différentes directions.
  - Le nombre de points de contrôle à mettre en place
  - Une aide pour les maîtres d'ouvrage à la définition des seuils grâce au nomogramme

**Tous ces éléments vont permettre à l'entreprise qui étudie le chantier de proposer une solution technique associée à des coûts et à un planning cohérents**