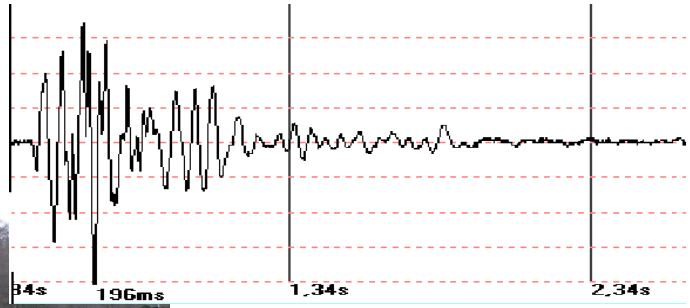
APPORTS DE LA GEOLOGIE DANS LA PREVISION ET LA MAÎTRISE DES VIBRATIONS



CFGI 14 octobre 2010
Jean-Jacques Leblond
CETE LYON-Département Laboratoire de Clermont-Ferrand

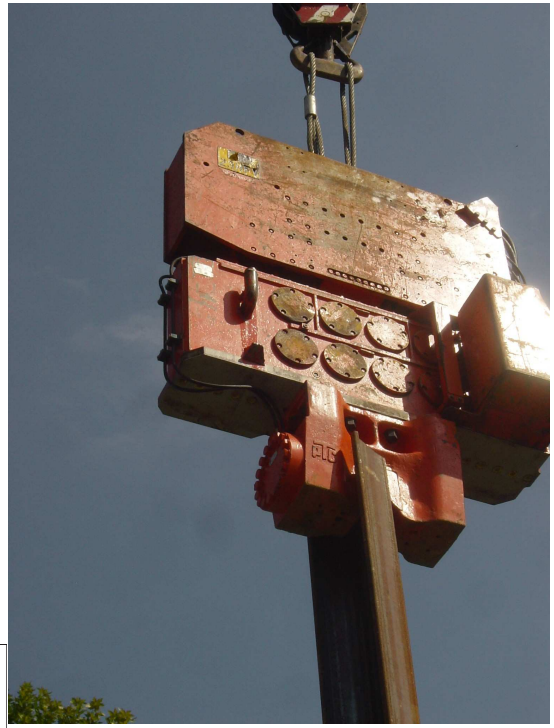
Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer

Une activité couvrant un champ très large en terme:

- De sources:

Tir de mine



Engins vibrants

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer

Une activité couvrant un champ très large en terme:

- De sources:

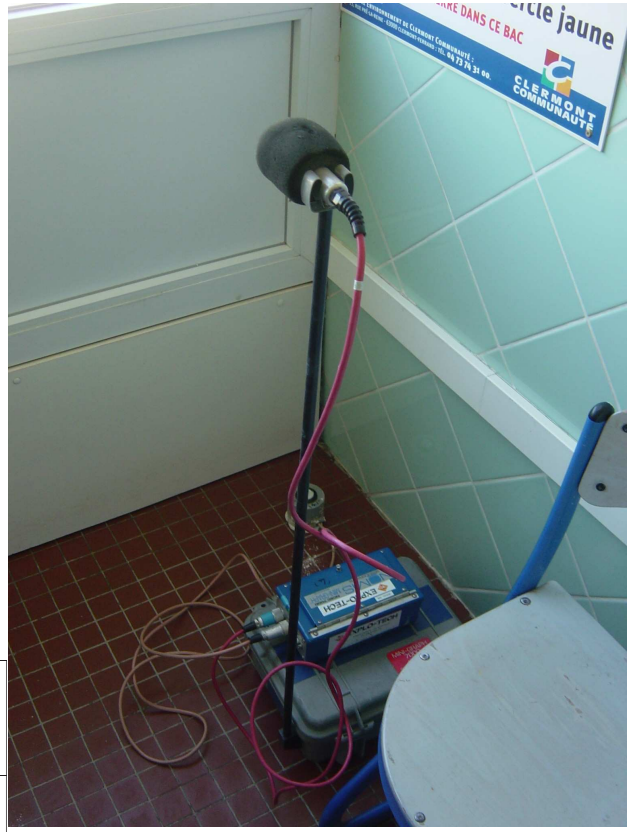
  Circulation routière et ferroviaire

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer

Une activité couvrant un champ très large en terme:

- De risques:
- **Dommages aux structures**



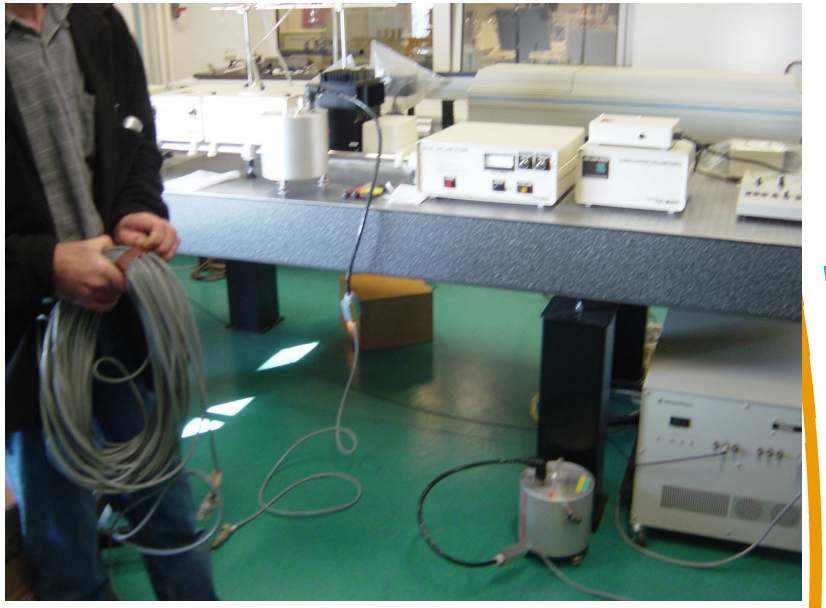
Gêne et atteinte à la santé

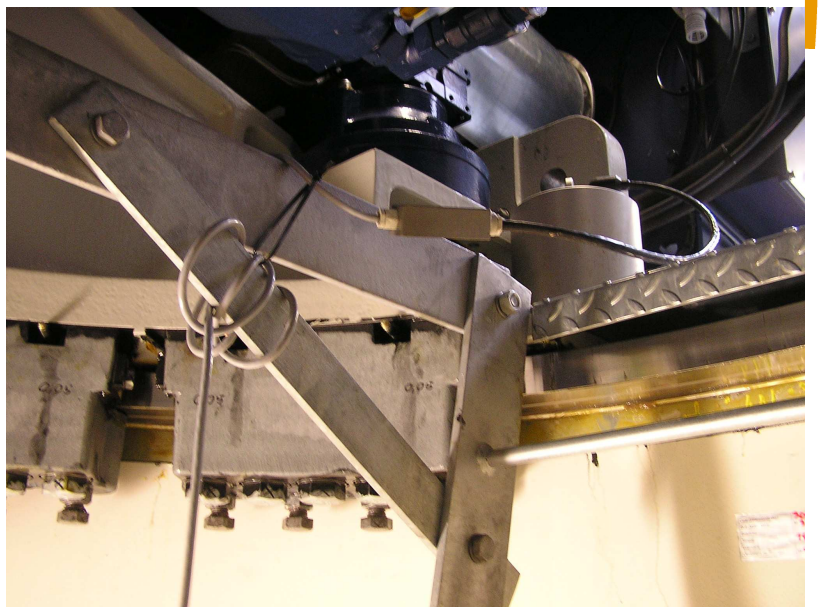
Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer

Une activité couvrant un champ très large en terme:

- De risques:
- **Perturbations d'équipements et d'activités sensibles, ou d'animaux**





Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer

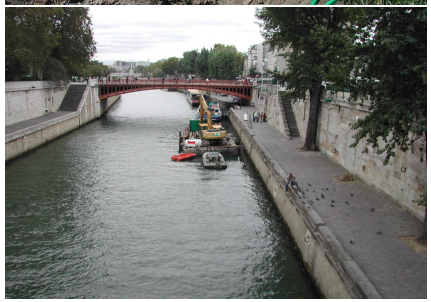
Les différentes étapes d'une étude de vibration

SOURCE

Décrire
Optimiser le fonctionnement
Limiter la puissance
Isoler

MILIEU DE PROPAGATION

Décrire
Modéliser
Modifier



STRUCTURES

Inventorier
Evaluer leur réponse et leur sensibilité
fixer les limites

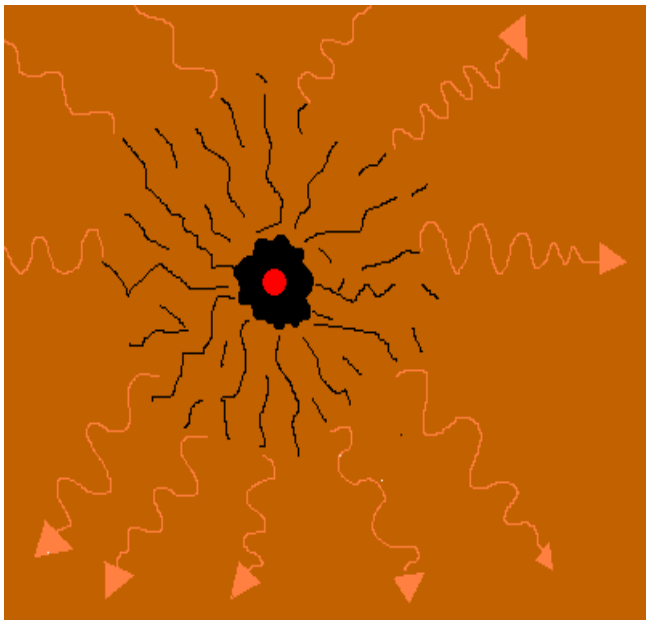
OCCUPANTS et EQUIPEMENTS

Inventorier
Evaluer leur sensibilité
Fixer des limites

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer

L'émission des vibrations à la source



- Les vibrations ont pour origine l'énergie résiduelle de la source non consommée en travail mécanique de fragmentation, de densification ou de déplacement.
- Ces vibrations dépendent donc de l'énergie mais également du rendement de la source.

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer

Les solutions à la maîtrise des vibrations:

- Minimiser le recours aux moyens générant des vibrations par adaptation du projet ou des méthodes;
- Réduire la puissance de la source
- Optimiser le rendement de la source

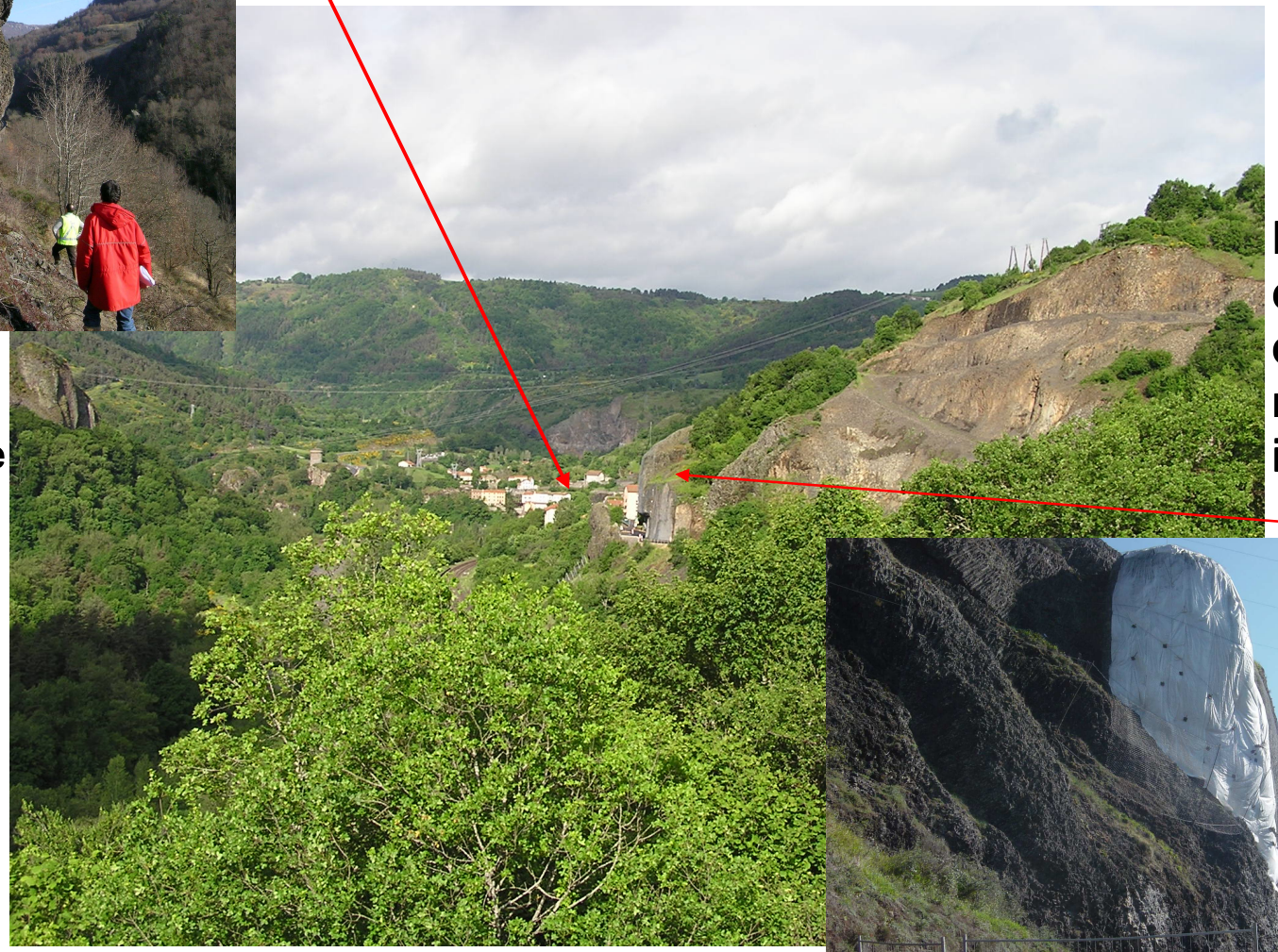
L'étude et la mise en œuvre de ces solutions imposent une approche géologique et géotechnique, illustrée par les exemples suivants

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

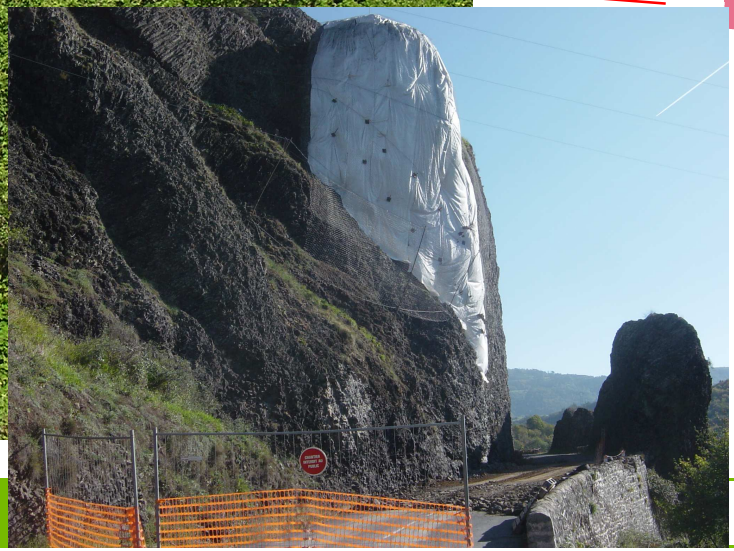
Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer

Chantier pour lequel les contraintes imposent d'adapter la géométrie du projet- RD 589- Monistrol d'Allier-43

Chandelle surplombant la voie ferrée



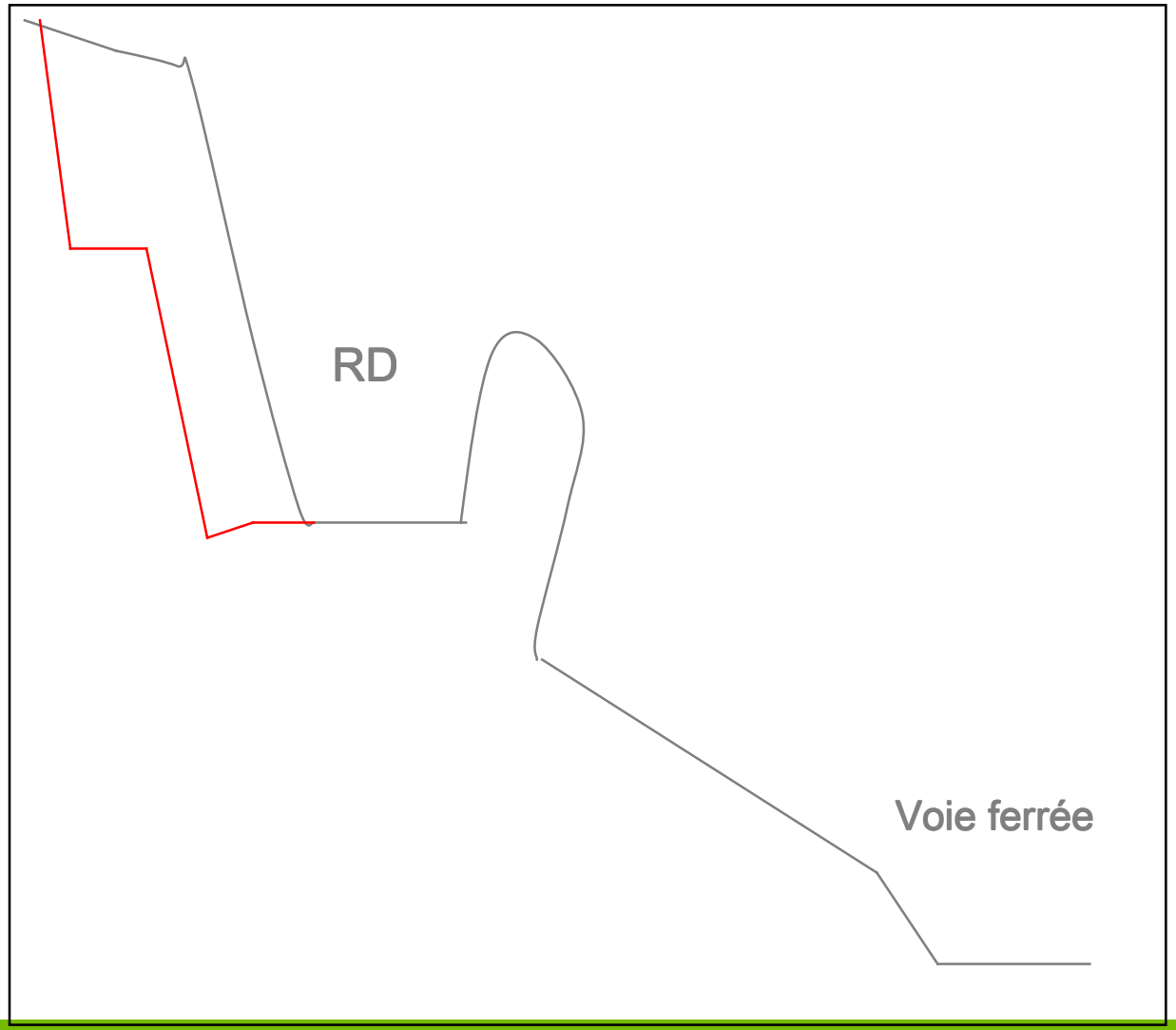
Massif à extraire dont une masse instable



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer

Le projet initial consistait à élargir la RD côté amont en déblai intégral classique en conservant la chandelle aval



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer

L'étude géotechnique concluait à la faisabilité du projet

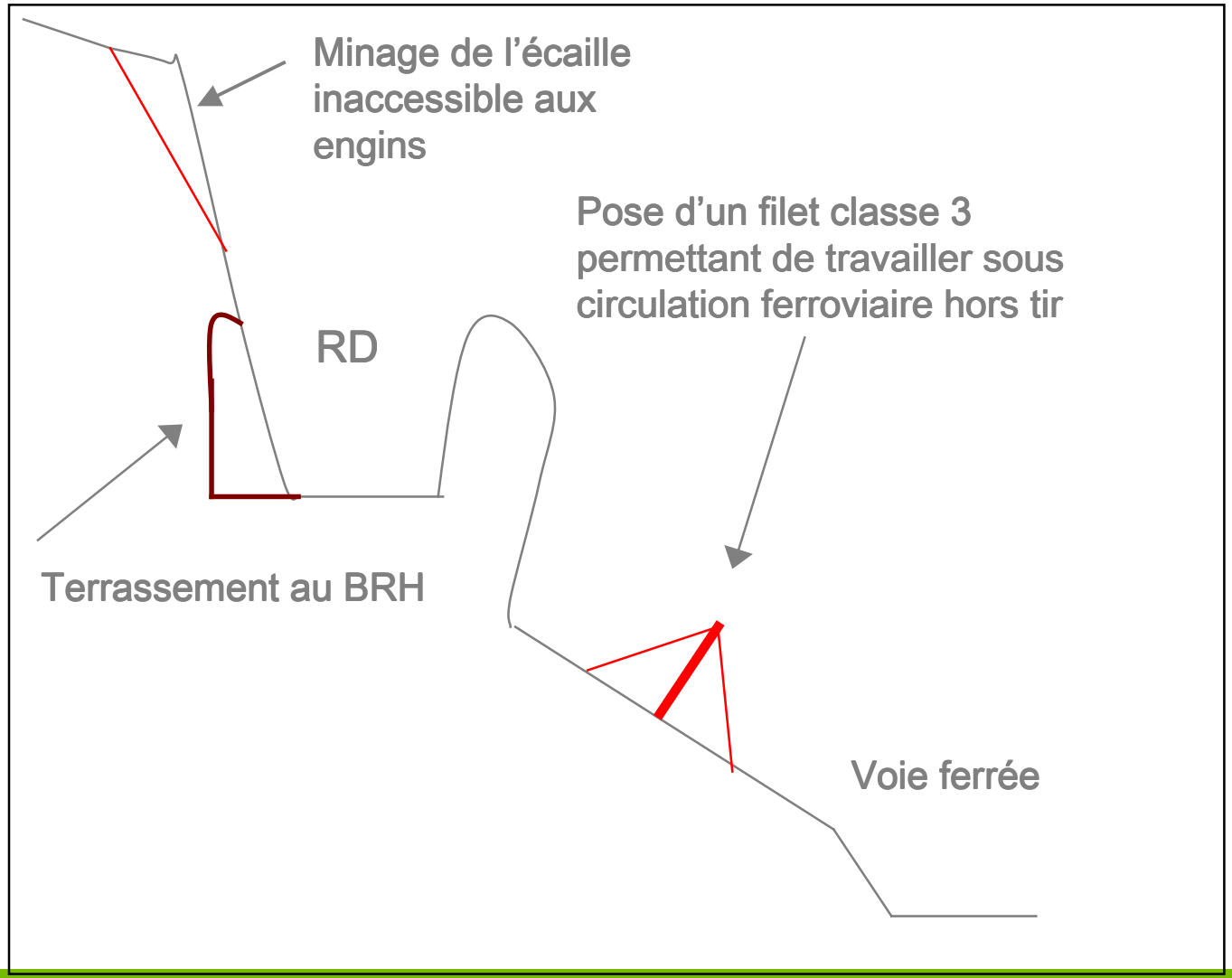
L'étude de terrassement concluait à l'impossibilité de concilier toute les contraintes et notamment:

- La limitation des énergies pour respecter les limites en vibration
- La limitation des volumes de matériau percutant la RD pour respecter les limites de vibration
- L'absence de projections ou de chutes de blocs sur la voie SNCF
- Les délais de coupure de circulation de la RD
- L'obligation de tirer et de mariner les tirs sur paroi sous coupure de circulation ferroviaire
- Le coût des travaux

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer

Le projet a été modifié afin d'aboutir à une solution technique conciliant toutes les contraintes

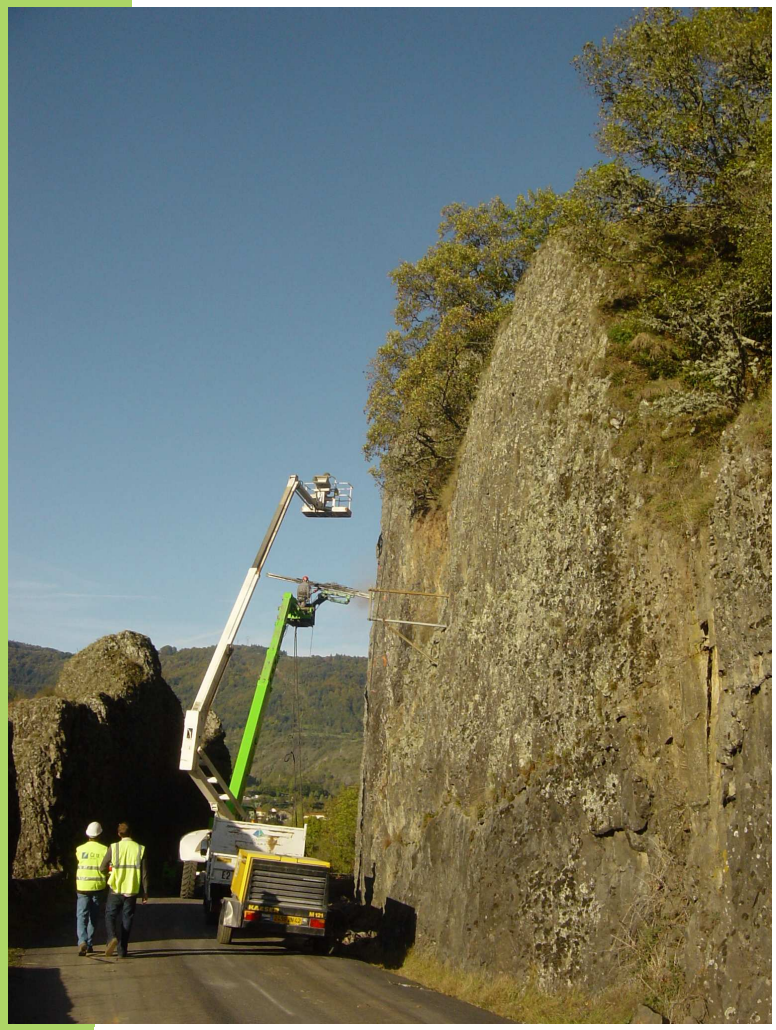


Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer

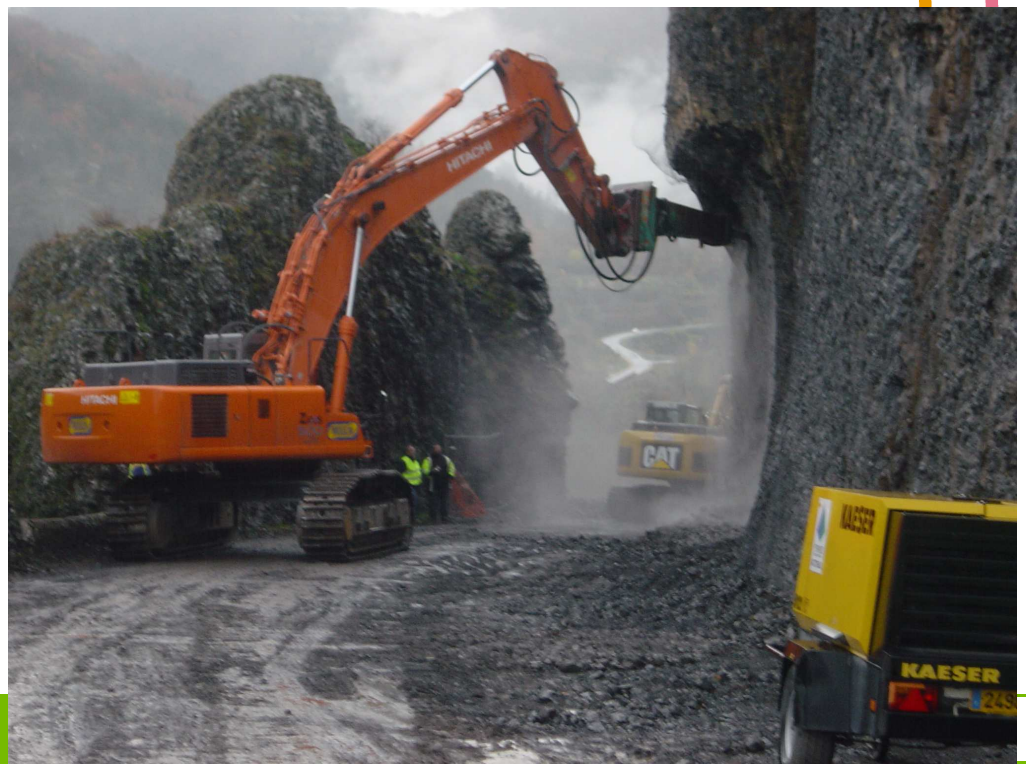
Filet dans le versant

Tir de l’écaille



Foration des ancrages renforçant l'encorbellement

Terrassement de l'encorbellement au BRH



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer

Les intervenants

Maître d’œuvre: CG 43

Bureaux d’étude:

CEBTP
CETE LYON

Entreprises:

MOULIN

PYRAMIDE

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ministère
de l'Écologie, de l'Énergie,
du Développement
durable
et de la Mer

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ministère
de l'Écologie, de l'Énergie,
du Développement
durable
et de la Mer

Chantier pour lequel l'étude doit permettre de hiérarchiser les priorités et de proposer des solutions techniques adaptées aux contraintes, au massif et au projet-

Parc Relais Henri Dunant-Clermont Ferrand-63

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer

Le projet

Parc de stationnement sur 2 niveaux
Surmonté par une station du tramway

Volume à extraire 70000 m3 dont 50% de basaltes sains

Délais 4 mois

Bâtiments à 5m, réseaux à 2.5m, cuves d'hydrocarbure à 15m
Blocs opératoires CHRU à 80m

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer

Les Contraintes

- **Vibrations (dommage, gêne, équipements sensibles)**
- **Projections et surpressions aériennes**
- **Circulation routière et piétonne dont accès des urgences**
- **Géométrie et stabilité de la paroi**
- **Délais**

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer

Solutions retenus

- **Choix du mode d'extraction: ripper à percussion, minage, BRH**
- **Réalisation de la paroi en bordure immédiate de chaussées circulées par découpage mécanique par rideau de trous vides (diamètre 127mm, espacement 0.5m, profondeur 7,5m)**

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer

Technique d'extraction	Avantages principaux	Inconvénients principaux	Utilisation envisagée
Brise roche hydraulique (BRH)	Adaptation à tous les matériaux rocheux Travail en continu Possibilité de régler les talus Accès à toute la fouille Absence d'autorisation spécifique à l'emploi	Rendement faible compensable en multipliant les ateliers et allongeant les horaires d'emploi Nuisances sonores incompatibles avec l'environnement urbain sur de longues périodes Risque d'éclat atteignant les véhicules ou piétons Vibrations de type continu imposant des limites de gêne Rendement peu modulable de chaque engin	Par intermittence pour traiter la périphérie de la fouille et la reprise des blocs Engin de puissance moyenne afin de limiter les vibrations

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer

Ripper à percussion	**Adaptation aux matériaux hétérogènes de sommet de coulée avec un rendement satisfaisant** **Absence de projection** **Reprise facile des matériaux** **Peu de poussière** **Absence d'autorisation spécifique à l'emploi**	**Inadaptation dans le rocher sain** **Surface d'évolution minimale importante** **Impossibilité d'accès en périphérie de la fouille** **Vibrations et bruit lors de la frappe** **Matériel unique arrêtant le chantier en cas de panne**	**Traitement du toit rocheux au centre de la fouille**
Minage	**Adaptable à toute roche** **Rendement important et modulable en fonction des contraintes** **Accès à toute la fouille** **Vibrations de courte durée** **Bruit réduit limité à la foration** **Poussières réduites limitées à la foration (dépoussièreur)** **Maîtrise de la phase critique (mise à feu)**	**Vibrations , surpressions, et projections à maîtriser** **Arrêt des circulations lors de la mise à feu** **Autorisations administratives nécessaires à la livraison et l'emploi**	**Solution de base retenue sous réserve de la maîtrise des nuisances lors de la mise à feu à définir par tir s d'essai**

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ministère
de l'Écologie, de l'Énergie,
du Développement
durable
et de la Mer

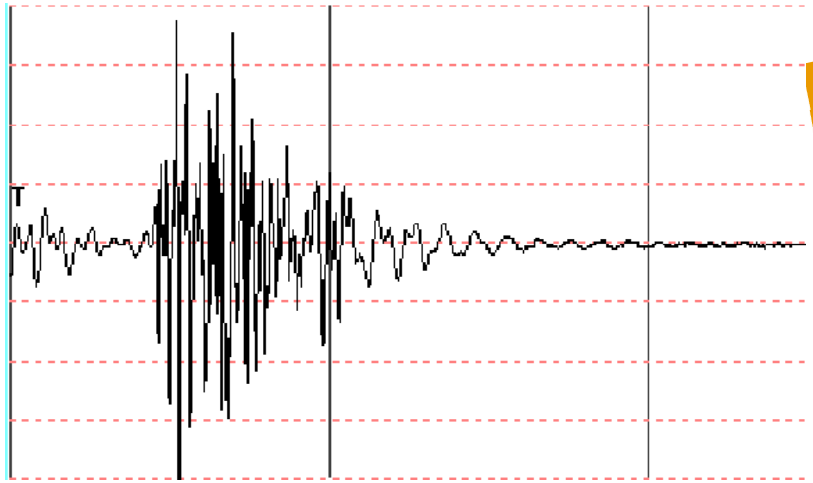
Parois obtenues

Intervenants: Moa: Vinci- Génie civil: Dumez Terrassements –minage: SFET, confortement: SATS, bureau d'études et de contrôle minage: CETE LYON

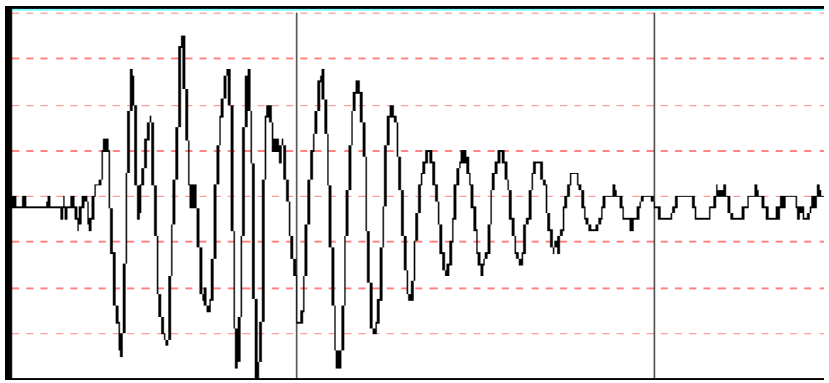
Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer

La propagation des vibrations dans le sol

- Vibration enregistrée à 10m d'un tir



- Vibration enregistrée à 100m du même tir

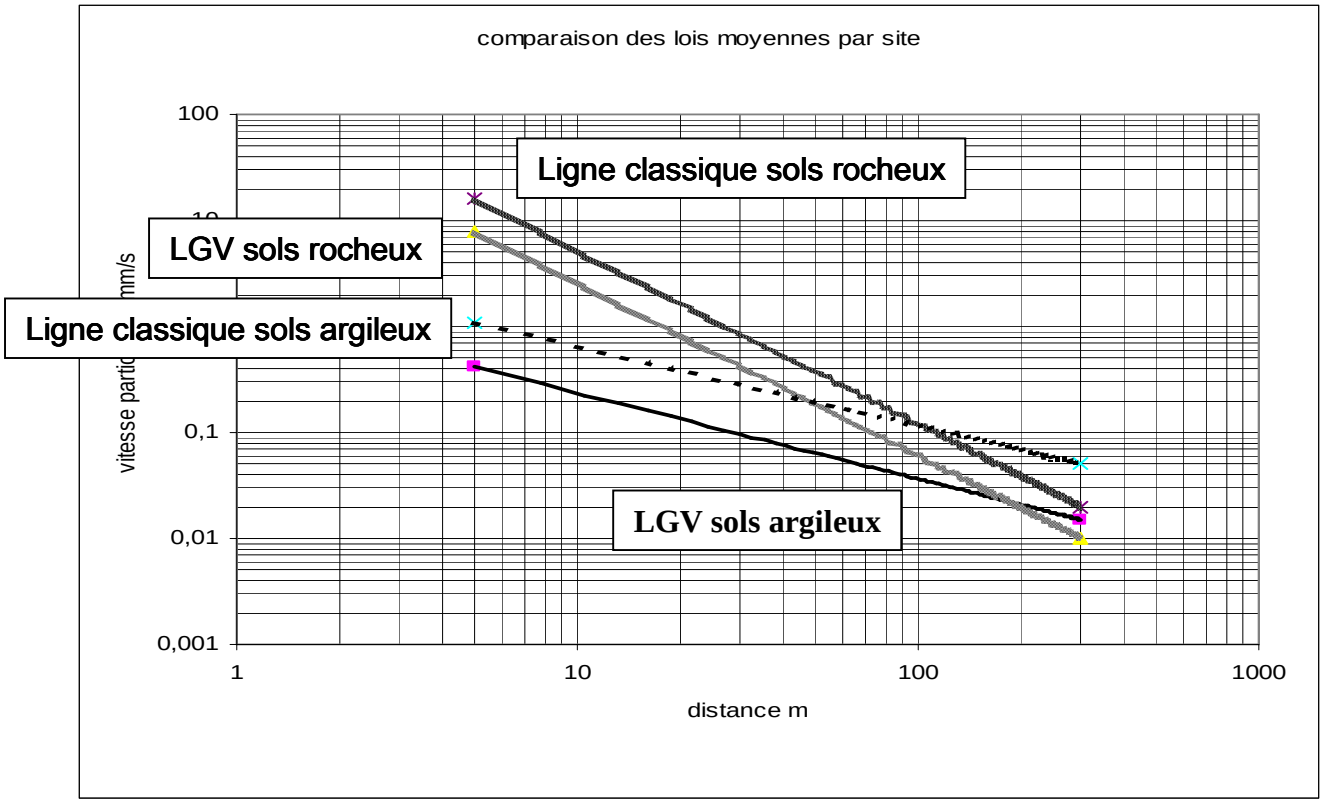


Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer

La prévision de la propagation des vibrations

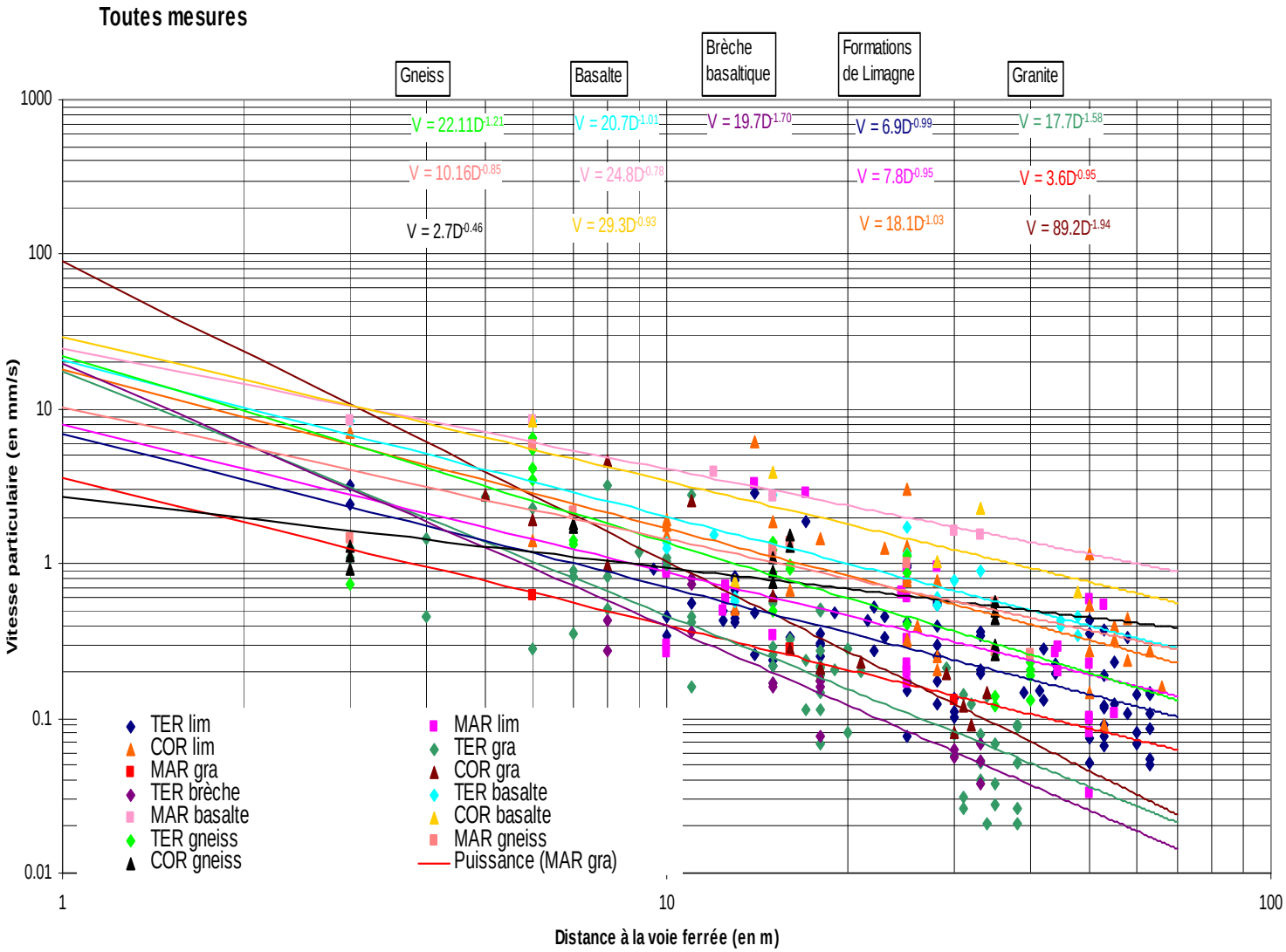
La prévision de la propagation des vibrations imposent de définir des modèles intégrant les caractéristiques des sols rencontrés entre la source et le récepteur.
Ces modèles sont généralement établis à partir de mesures sur site sur un nombre réduit de sites sélectionnés à partir de données géologiques et géotechniques



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer

Influence des sols support- campagne de mesures 2006 dans la région Auvergne (LRPC Clermont- Faculté de Besançon)



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer

L’étude des risques vibratoires devient de plus en plus fréquemment un des volets traités dans le dossier d’étude d’impact des grands projets, nécessitant d’aborder ces problèmes dès les études préalables, puis de préciser les modèles au fur et à mesure de l’avancement des études géotechniques.

Les modèles de propagation sont également utilisés en suivi de travaux afin d’optimiser les méthodes de production notamment en minage

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer

Mode opératoire d'une étude de risques vibratoires pour une infrastructure nouvelle

La principale difficulté propre à ce type d'étude réside dans l'absence de la source.

Il convient donc de procéder selon les étapes suivantes:

- Classer les sols par famille (approche purement géotechnique dont la précision dépend du niveau des études existantes)
- Définir des sites de mesure représentatifs (sites moyens par formation géotechnique et sites singuliers) et réaliser des mesures à partir de sources existantes ou artificielles afin de caractériser la réponse des sols et des structures
- Définir un modèle de la future source vibratoire
- Appliquer le modèle de source au réponse des sols et des structures

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer

Exemple: ligne nouvelle: LGV Pays de la Loire- Bretagne

L' étude avait pour objet d'analyser l'impact vibratoire de la future LGV en terme de risque de dommages et de gêne.

Le projet était au niveau APS et l'étude géotechnique était jointe.

Le tracé d'une longueur de 180 Km était défini par un fuseau de 500 à 2000m et un axe privilégié.

2 points singuliers étaient connus (Un plaignant et un laboratoire ayant signalé du matériel sensible).

Des lignes ferroviaires existaient localement, certaines formations géologiques n'étaient pas concernées par une voie ferrée existante.

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer

Dimensionnement de l'étude

Compte tenu du linéaire de la ligne et de l'état d'avancement du projet l'étude a été dimensionnée sur la base d'une approche purement géotechnique des lois de propagation.

Le site a été découpé en secteur géotechniquement homogènes et des mesures de vibration ont été réalisées pour chacune de ces formations

Les sources utilisées ont été les lignes existantes, puis la circulation routière et enfin des impacts de masse au sol.

Les résultats des mesures ont été pondérées afin de ramener la vibration de la source utilisée à celle d'un TGV circulant sur une LGV à 300 Km/h. Pour cela nous avons utilisé des coefficients de correction établies à partir d'études antérieures et de 2 mesures en extrémité de la LGV à Conneré (72).

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer

10 sites ont été instrumentés dont les deux points singuliers connus.

Compte tenu des incertitudes liées à la faiblesse des échantillons et s'agissant d'une étude de risque, les lois de site ont été définies sur la base des valeurs les plus défavorables.

A partir des lois de site et de la géométrie de la ligne il a été défini 4 zones de risque par formation géotechnique:

La zone ZD exposée à un risque de dommages liés aux circulations des TGV

La zone ZGI exposée à un risque de gêne important des riverains

La zone ZGF exposée à un risque faible de gêne des riverains

La zone ZNR probabilité négligeable de risque de gêne

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer

Influence de la nature des sols sur l'atténuation et la fréquence dominante des vibrations émises par différentes sources: étude LGV Le Mans-Rennes

site	nature des terrains	source vibratoire	pente d'atténuation	fréquence dominante entre 20 et 40m
Conneré(Le Mans)	sables argileux	TGV 300Km/h	1,1	6 Hz
les mossibatières (Le Mans)	alluvions sablo-argileuses	TGV 160Km/h	1,09	16 Hz
la Ronce (Le Mans)	colluvions marneuses	train 100Km/h	1,08	9 Hz
la sauvagère (Le Mans)	colluvions marneuses	train 100Km/h	1,09	15 Hz
le petit Paris (Sablé)	schistes altérés	train 100Km/h	1,4	30Hz
les Suhards (Laval)	schistes altérés	circulation routière	1,5	55 Hz
Porsolts (Laval)	schistes altérés	masse	1,5	50 Hz
Louvigné (Laval)	schistes peu altérés	masse	1,4	38 Hz
		circulation routière		38 Hz
Le Pertre (Vitré)	Granite	masse	1,87	50 Hz
Cesson (Rennes)	schistes altérés	train 80 Km/h	1,4	30 Hz

Définition des distances limite des zones de risque

zone de risque	distance de la limite extérieure de la zone au centre de la plateforme ferroviaire m											
	Famille1			Famille2			famille3			famille4		
	remblai	déblai	ouvrages	remblai	déblai	ouvrages	remblai	déblai	ouvrages	remblai	déblai	ouvrages
ZD	30	20	12	15	10	8	18	12	9	20	16	12
ZGI	80	57	30	40	30	20	50	36	25	60	45	30
ZGF	200	150	80	80	65	40	100	75	46	110	90	60
ZNR	>200	>150	>80	>80	>65	>40	>100	>75	>46	>110	>90	>60

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer