

**Evaluation du risque vibratoire
dans les projets ferroviaires**

Evaluation du Risque Vibratoire dans les projets ferroviaires

-

Méthodologie Illustration des différentes approches

Evaluation du risque vibratoire dans les projets ferroviaires

Introduction

L'évaluation des risques vibratoires en terme :

de **dommage** sur les structures

de **gêne**

- un des volets traités dans le dossier **d'étude d'impact** des grands projets, dès les études **préalables**,
- basée sur **l'élaboration de modèle de propagation des vibrations dans le sol à partir de mesures sur site**
- Modèles à affiner au fur et à mesure de **l'avancement des études géotechniques**.

2 Exemples :

- **Approche globale** : Ligne nouvelle LGV Sud-Ouest
- **Approche ponctuelle** : Structure d'accueil pour des séminaires (retraites)



Evaluation du risque vibratoire dans les projets ferroviaires

Approche globale : Ligne nouvelle LGV Sud-Ouest

Evaluation du risque vibratoire dans les projets ferroviaires

Exemple : Ligne nouvelle LGV

. Demandeur : RFF

. Cadre

Création d'une ligne nouvelle

Département de la Vienne et de la Haute Vienne
(plus de 100 km)

. Objectifs

Evaluer les risques vibratoires en terme :

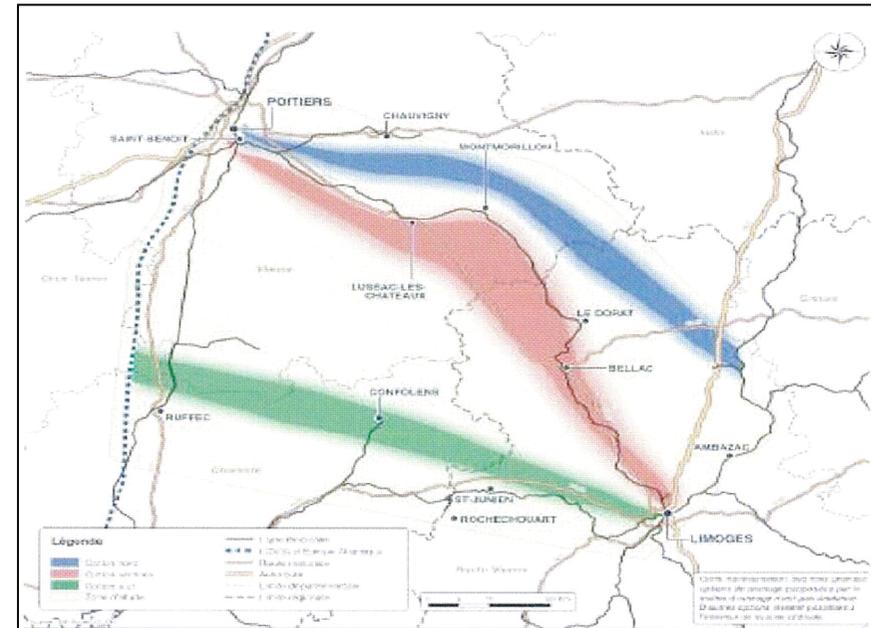
de dommages aux structures et

de gêne liés

phase construction et exploitation

Localiser les structures exposées à ces risques

Définir les dispositions à prendre afin de maîtriser ces risques



Evaluation du risque vibratoire dans les projets ferroviaires

Exemple : Ligne nouvelle LGV

- Mode opératoire

les étapes générales suivantes:

1. **Recueil de données** - choix des **sites de mesure** représentatifs

2. **Réaliser les mesures** à partir de sources existantes ou artificielles

3. **Classer les sols par famille**

(basée sur les données géotechniques et la réponse des sols aux vibrations et dont la précision dépend du niveau des études existantes)

4. **Délimiter les zones de risques vibratoires** en fonction des familles de sols

Evaluation du risque vibratoire dans les projets ferroviaires

Exemple : Ligne nouvelle LGV

1. Choix des sites de mesure (effectué à l'issue de la reconnaissance du tracé)

- la **nature géologique** des formations ;
- la présence de **constructions susceptibles** d'être exposées à un risque vibratoire ;
- l'existence d'**une source vibratoire** (circulation routière ou ferroviaire) ;
- l'existence d'une **géométrie contrastée de l'infrastructure**, afin de vérifier son influence (déblai, remblai).

site	commune	implantation	formations concernées
1	Iteul (86)	ligne Poitiers -Angoulême	Alluvions sablo-argileuses
2	Lhonnaizé (86)	RD 8 lieu dit « le Breuil »	Argiles sur calcaires
3	Mazerolles (86)	Piste d'accès à la carrière de Mazerolles	Alluvions anciennes
4	Saint Bonnet Près Bellac (87)	RN 147	Micaschistes arénisés à altérés
5	Peyrilhac (87)	Ligne Poitiers-Limoges PN 53	Arènes granitiques
6	Nieul (87)	Carrefour RN 147-RD 28 Lieu dit « la Poitevine »	Granite sain sub-affleurant
7	Le Palais sur Vienne (87)	Intersection lignes Paris-Limoges et de la rue Pierre Curie	Arènes et gneiss altérés

Evaluation du risque vibratoire dans les projets ferroviaires

Exemple : Ligne nouvelle LGV

2. Réalisation des mesures sur site

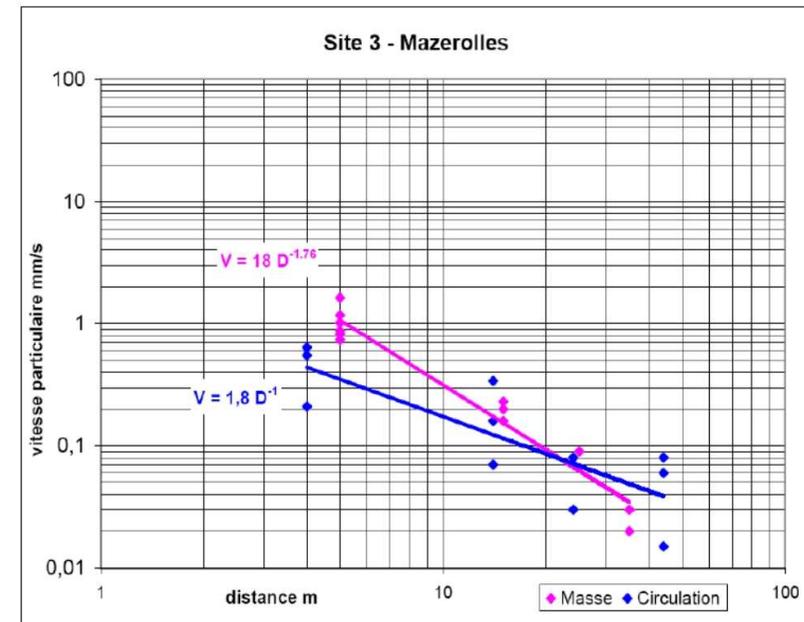
Une des principales difficulté à ce type d'étude est l'absence de source vibratoire ferroviaire type LGV

Les sources utilisées sont :

- . des lignes existantes
- . la circulation routière ou des engins de chantier
- . des impacts de masse au sol.



•Mesures réalisées selon la norme NFISO 14837-1 5 (3 capteurs par site)



$$V = KD^{-\alpha}$$



Mesures réalisées sur chaque site (7) : définition de la loi de propagation

Evaluation du risque vibratoire dans les projets ferroviaires

Exemple : Ligne nouvelle LGV

3. Classement des sols par famille

Terrains rencontrés regroupés en 5 familles caractérisées par leur :

- capacité à transmettre les vibrations
- leur nature géotechnique et leur état hydrique

Famille de sols	
<p>Famille 1 $V = K \cdot D^{-0,8}$ $F < 8 \text{ Hz}$</p>	<p>Alluvions récentes, dépôts de bas fond, limons des plateaux humides ; Matériaux de classe A à l'état h à th ; Pentés d'atténuation très faibles (-0,8) - fréquences basses et des énergies initiales transmises faibles.</p>
<p>Famille 2 $V = K \cdot D^{-1}$ $F < 8 \text{ Hz}$</p>	<p>Argiles, sables argileux et limons des plateaux à l'état m à ts, alluvions anciennes ; Pentés d'atténuation faibles (-1) - fréquences basses.</p>
<p>Famille 3 $V = K \cdot D^{-1,1}$ $10 < F < 30 \text{ Hz}$</p>	<p>Arènes à l'état h à th ; Pentés d'atténuation faibles (-1.1) - fréquences moyennes et des énergies initiales transmises faibles.</p>
<p>Famille 4 $V = K \cdot D^{-1,4}$ $10 < F < 60 \text{ Hz}$</p>	<p>Arènes à l'état m à ts ; Rocher très altéré R63 ; Pentés d'atténuation plus fortes (1,4) - fréquences plus élevées que les familles précédentes.</p>
<p>Famille 5 $V = K \cdot D^{-1,7}$ $10 < F < 60 \text{ Hz}$</p>	<p>Calcaires, craies et marnes (Jurassique et Crétacé) rocheux (R21,R22) ; énergies initiales transmises et des pentés d'atténuation fortes (1,7), - fréquences plus élevées que les familles précédentes.</p>



Evaluation du risque vibratoire dans les projets ferroviaires

Exemple : Ligne nouvelle LGV

4. Délimiter les zones de risques vibratoires en fonction des familles de sols

Zone A, B et C:

Zones de sévérité décroissante

zone A : risque de dommage aux structure et incompatibles avec habitants

zone B : gêne importante ou perturbations activités

zone C : gêne ou perturbations faible d'équipements très sensibles

Distance de la limite extérieure de la zone au centre de la plate-forme ferroviaire en m VR=320 Km/h				
Famille de sols	Géométrie de la ligne	Zone de risque (mètre)		
		Zone A	Zone B	Zone C
Famille 1 $V=K.D^{0.8}$ $F<8$ Hz	Remblai	16	64	240
	Déblai	12	45	145
	ouvrage	7	21	60
Famille 2 $V=K.D^{-1}$ $F<8$ Hz	Remblai	18	60	180
	Déblai	12	40	120
	ouvrage	6	20	60
Famille3 $V=K.D^{-1.1}$ $10<F<30$ Hz	Remblai	17	78	200
	Déblai	13	55	140
	ouvrage	8	31	75
Famille 4 $V=K.D^{-1.4}$ $10<F<60$ Hz	Remblai	15	59	129
	Déblai	11	44	96
	ouvrage	7	27	59
Famille 5 $V=K.D^{-1.7}$ $10<F<60$ Hz	Remblai	19	59	113
	Déblai	15	46	89
	ouvrage	10	31	59

Famille 4 $V=K.D^{-1.4}$ $10<F<60$ Hz	Remblai	15	59	129
	Déblai	11	44	96
	ouvrage	7	27	59



Evaluation du risque vibratoire dans les projets ferroviaires

Exemple : Ligne nouvelle LGV

4. Délimiter les zones de risques vibratoires en fonction des familles de sols

Sur les 32 sites répertoriés :

zone A – risque de dommage aux structure et incompatibles avec habitants:

Aucune construction

zone B – gêne importante ou perturbations activités:

10 sites, dont 5 comportant des habitations

zone C – gêne ou de perturbations faible d'équipements très sensibles

22 sites, dont 18 comportant des habitations

PR	localisation		nombre de construction	Zone de risque	familles de sol de référence
	commune	dénomination			
0,5	Iteuil	Les Varennes	2	B-C	1-2
6,5	Aslonnes	Les Pouillaux	1	C	2
9,9	Gizay	Ferrière	2	C	2
13	Vernon	Villiers	1	C	1-2
15	Vernon	La Cope	2	C	2
18,4	Dienne	La Voie	2	C	2
19,8	Dienne	La Pépinière	2	C	1-2
22,3	Lhonnaizé	Le Petit Lieu	3	B-C	1-2
25	Lhonnaizé	Le Breuil	3	B	1-2-5
25,2	Lhonnaizé	La Rafinière	9	C	1-2-5
26	Lhonnaizé	Les Fossés	1	C	2-5
28,2	Lhonnaizé	RD 83	2	B	2
28,6	Civaux	L'étang	5	C	1-2
35,7	Lussac les Ch.	Mauvilland	6	B	2-5
39,5	Persac	La Tuilerie	4	C	1-2
40,9	Persac	Le Chanceau	2	C	1-2
52,1	Lathus St Rémy	Chez Lavaud	1	B-C	3-4
53,5	Lathus St Rémy	La Grande Ferrière	12	B-C	3-4
56,4	Bussières P.	L'Embergement	1	C	2-3-4
57,4	Bussières P.	Chez Paulet	4	A-B	2-3-4
58,2	Bussières P.	RD107	2	A-B-C	2-3-4
60,5	Bussières P.	Longuemichène	7	A-B-C	3-4

28,6	Civaux	L'étang	5	C	1-2
35,7	Lussac les Ch.	Mauvilland	6	B	2-5
39,5	Persac	La Tuilerie	4	C	1-2
40,9	Persac	Le Chanceau	2	C	1-2

Bureau
scientifique
et Technique
de l'Équipement

Evaluation du risque vibratoire dans les projets ferroviaires

Exemple : Ligne nouvelle LGV

Approche global - Conclusion :

1. Etude permet d'établir un inventaire des constructions susceptibles d'être exposées à un risque vibratoire en terme de :

- Nocivité pour les structures,
- de gênes pour les occupants ou de
- perturbations d'équipements sensibles

2. L'étude est basée sur une densité faible de données et **doit être affinée** dans les secteurs sensibles (limite entre les zones A, B et C)

En tenant compte des **études géotechniques complémentaires** et **des dispositions constructives du projet.**



Exemple d'étude spécifique : Structure d'accueil



Evaluation du risque vibratoire dans les projets ferroviaires

Exemple d'étude spécifique : Structure d'accueil

Evaluation du risque vibratoire dans les projets ferroviaires

Exemple d'étude spécifique : Structure d'accueil

- **Cadre :**

Etablissement accueillant des séminaires religieux : salle de réunion, chambres
Situé à environ 70 mètres de l'axe de la future voie LGV

- **Demande :**

Caractériser le risque vibratoire lié à la circulation ferroviaire : **dommage et gêne**

- **Méthodologie :**

1. **Simulation de l'état futur – passage
du LGV**



Utilisation de sources de substitution
(masse, véhicules)

2. **Caractériser l'état initial – « vie du site »**



Mesure bruit de fond
Activité humaine

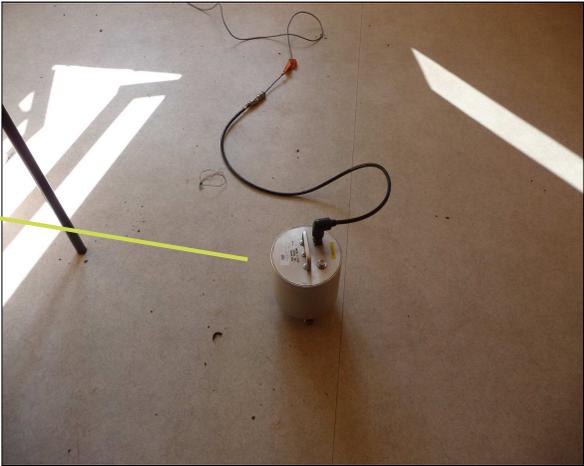
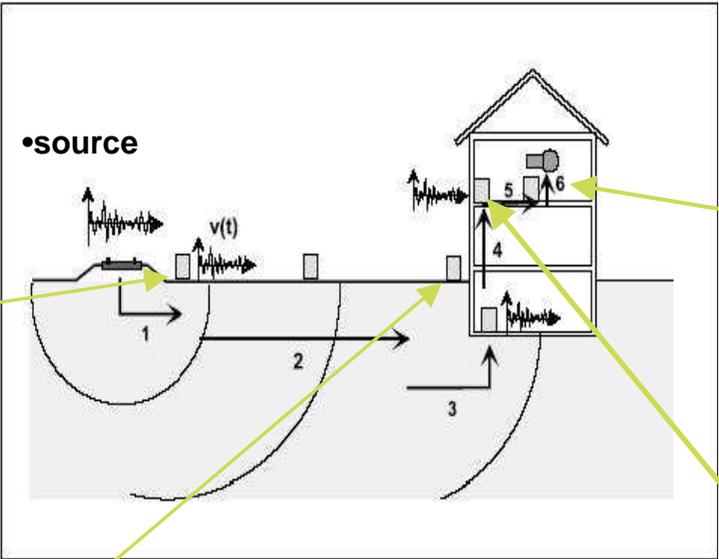
3. **Comparer les deux états : évaluer l'impact de la future ligne**



Evaluation du risque vibratoire dans les projets ferroviaires

Exemple d'étude spécifique : Structure d'accueil

Instrumentation sur site : Capteurs



Propagation des vibrations



Evaluation du risque vibratoire dans les projets ferroviaires

Exemple d'étude spécifique : Structure d'accueil

Instrumentation sur site : Sources

Une des principales difficulté à ce type d'étude est
l'absence de source vibratoire ferroviaire type LGV

Les sources utilisées sont :

- la circulation d'engins de chantier
- des impacts de masse au sol.



Impacts d'essieux lourds équipés de pneumatiques

Basse fréquences



Impacts de masse : hautes fréquences

Evaluation du risque vibratoire dans les projets ferroviaires

1. Simulation de l'état futur

- Définition des Lois de propagation

Evaluation du risque vibratoire dans les projets ferroviaires

Exemple d'étude spécifique - Structure d'accueil

1. Simulation de l'état futur – passage du LGV

•Etablissement de lois de

Propagation dans le sol :

$$V_{sol} = K * D^{-\alpha}$$

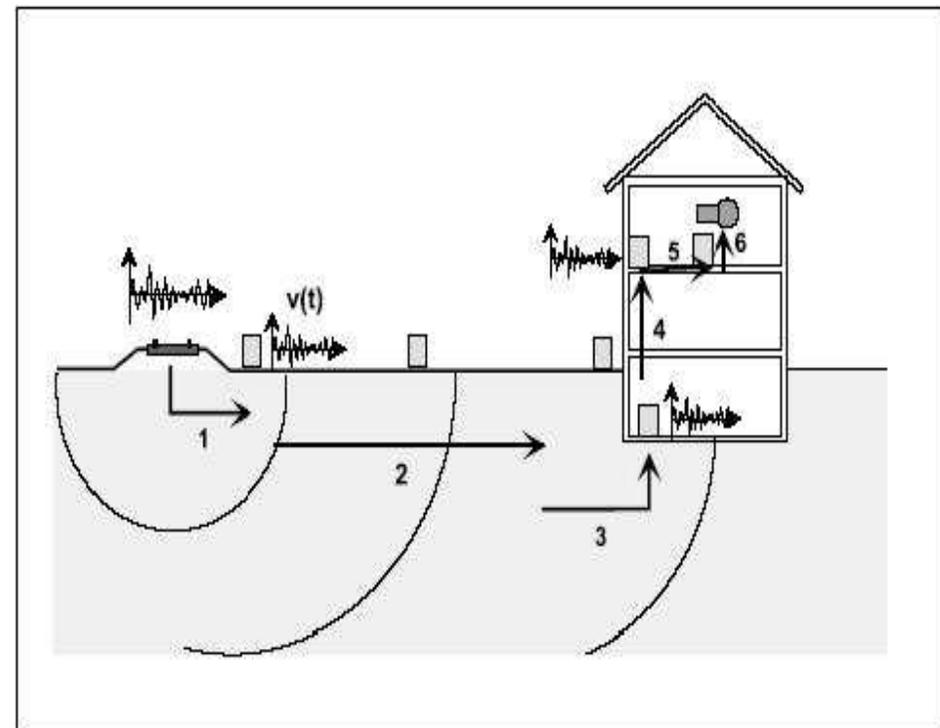
Propagation dans le bâtiment :

$$V_{bât_i} = A_i * V_{sol}$$

(Lois simples et majorantes)

Mesures sur site : α et A_i

Mesures antérieures : K



Propagation des vibrations

Evaluation du risque vibratoire dans les projets ferroviaires

- **Etablissement de la Loi de propagation dans le sol :**

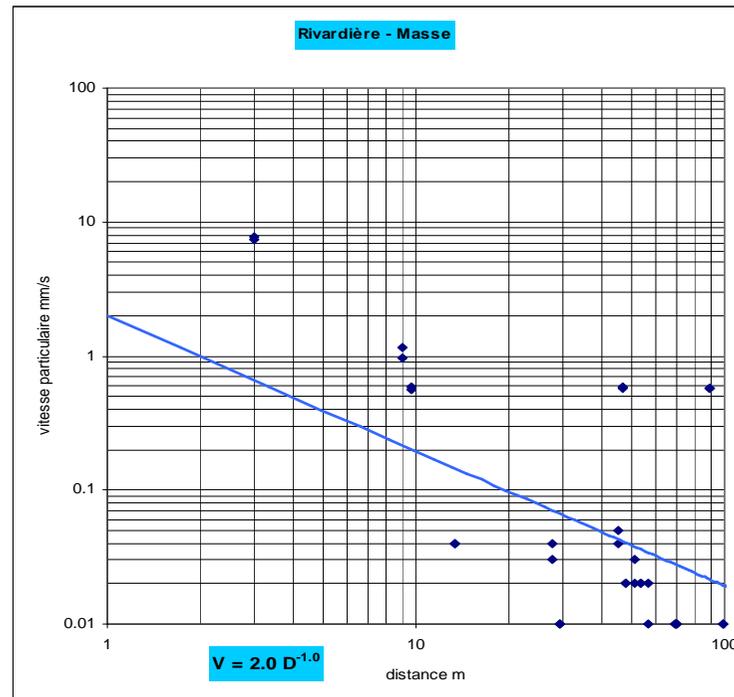
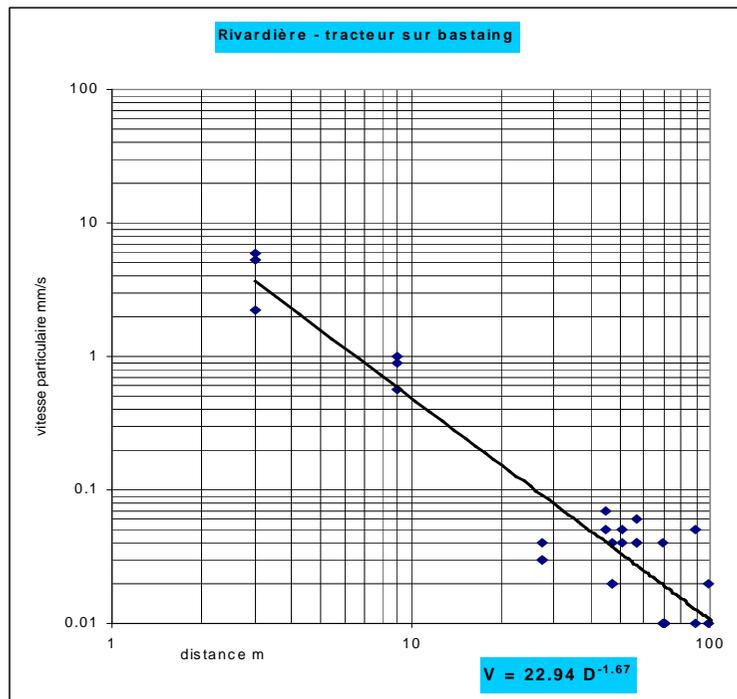


**Evaluer le niveau des vitesses particulières
des ondes se propageant dans le sol et
arrivant aux structures**

Evaluation du risque vibratoire dans les projets ferroviaires

•Etablissement de la Loi de propagation dans le sol :

• Résultats : mesures dans le sol



. Pente proche (-1 à -1.67)
 . K rapport de 10 = différences de puissance entre sources

vitesse particulaire en fonction de la distance – propagation dans le sol

$V = KD^{-\alpha}$ avec :

- V : vitesse particulaire de vibration en mm/s ;
- K : coefficient de site lié à la géométrie de la ligne et aux sols ;
- D : distance à la ligne en m ;
- α : pente d'amortissement des vibrations liée aux sols.

Loi de propagation

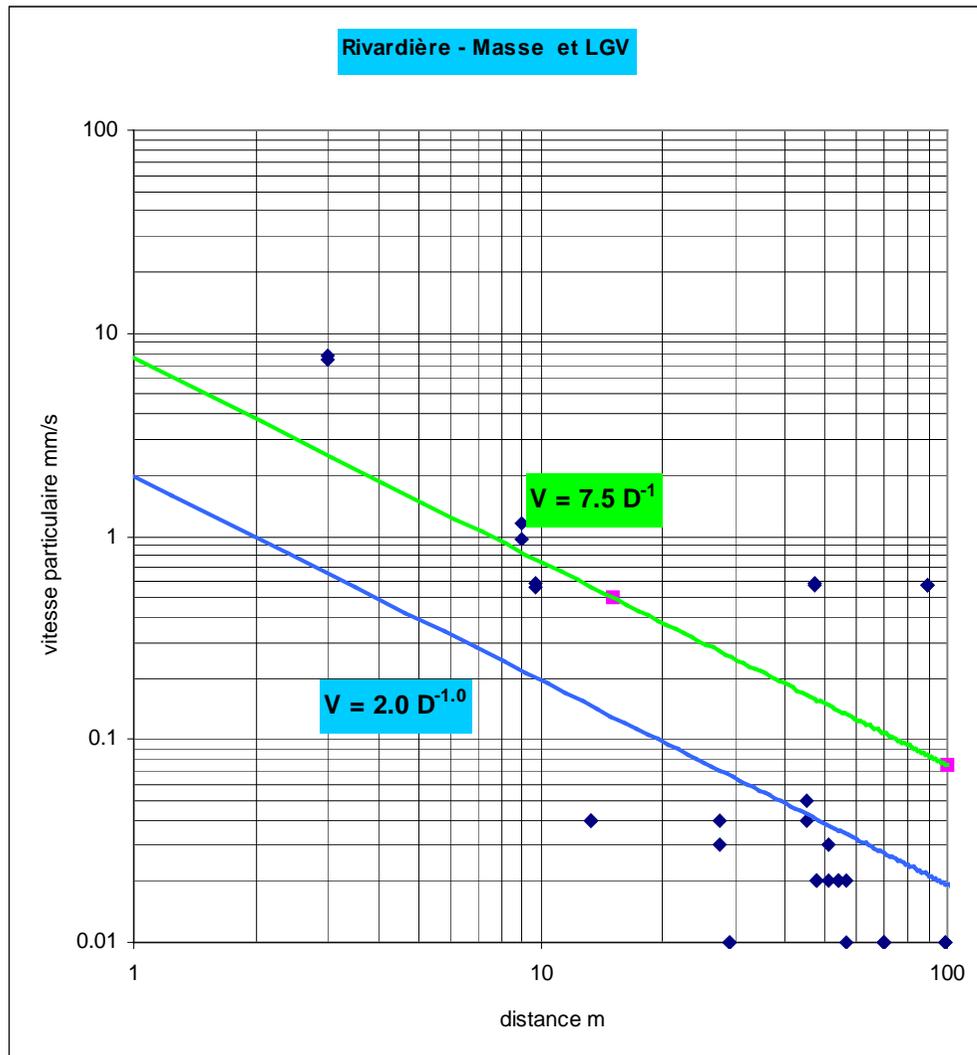
$$V = 2 D^{-1}$$



Evaluation du risque vibratoire dans les projets ferroviaires

•Etablissement de la Loi de propagation dans le sol :

• Résultats : mesures dans le sol



•Comparaison avec mesures sur LGV sur site similaire



La loi de site majorante du modèle prend la forme:

$$V = 7,5 D^{-1}$$

Sur la base de ce modèle, il est possible d'évaluer la vitesse de vibration maximale transmise par le sol arrivant au bâtiment :

0,07 mm/s

Evaluation du risque vibratoire dans les projets ferroviaires

- **Etablissement de la Loi de propagation dans le bâtiment :**



**Evaluer le niveau des vitesses particulières
des ondes se propageant dans le bâtiment à
partir de l'interface sol/structure**

Evaluation du risque vibratoire dans les projets ferroviaires

•Etablissement de la Loi de propagation dans le bâtiment :

- Résultats : mesures dans les bâtiments

Réponse du bâtiment aux vibrations extérieures (tracteur, masse)

- Milieu de plancher : 0,09 mm/s
- Bord de fenêtre : 0,07 mm/s
- Base du bâtiment : 0,06 à 0,04 mm/s

Amplification entre la base et le milieu de plancher de 2

Toutes les fréquences se situent aux alentours de 25 Hz.



2. Caractériser l'état initial – « vie du site »

- **Mesure du bruit de fond**

Evaluation du risque vibratoire dans les projets ferroviaires

Exemple d'étude spécifique : Structure d'accueil

2. Caractériser l'état initial – « vie du site »

- Résultats : mesures du bruit de fond dans les bâtiments

- Bord de fenêtre : 0,07 mm/s
- Milieu de plancher : 0,17 mm/s
- Base du bâtiment : Pas de déclenchement.



Evaluation du risque vibratoire dans les projets ferroviaires

• Synthèse

- **Loi de propagation dans le sol (jusqu'au bâtiment)**

vitesse maximale de **0,07 mm/s** au pied du bâtiment,

- **Loi de propagation dans le bâtiment**

amplification entre pied du bâtiment et milieu de plancher = **2**

vitesse maximale de l'ordre de :

0,14 mm/s

Dans bâtiment - milieu de plancher

- **Bruit de fond – activité humaine**

Vitesse de l'ordre de **0,17 mm/s**

Vitesses de vibrations liées au passage du LGV inférieures aux valeurs enregistrées dues à l'activité humaine (bruit de fond).

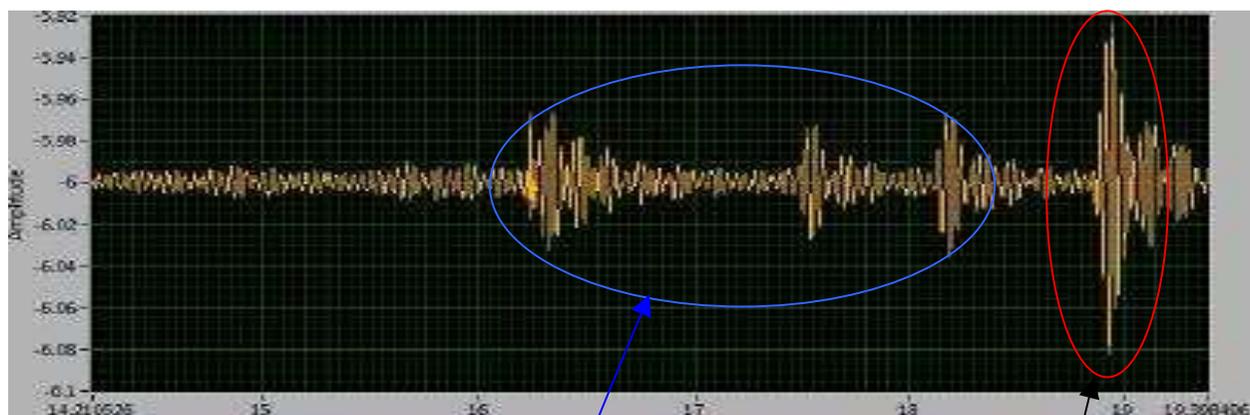


- **Impact sur structure : valeurs trop faibles pour endommager structures**

- **Gênes : vibrations LGV noyées dans bruit de fond**



Evaluation du risque vibratoire dans les projets ferroviaires



Frappe de
masse

Mouvement à
proximité

enregistrement voie verticale – frappe de masse et passage personne
Capteur 1 Hz sur bord de fenêtre

- Conclusion

Etude globale basée sur une **faible densité de données**

- permet de définir des lois de **propagation majorantes** et de faire un premier inventaire des constructions susceptibles d'être exposées
- ne permet pas de mettre en évidence des **points singuliers** (géologie, constructions particulières) - de part son caractère global

Etudes ponctuelles indispensables pour l'affiner sur secteurs sensibles - en se basant sur les **données géotechniques** futures et les dispositions constructives de la ligne

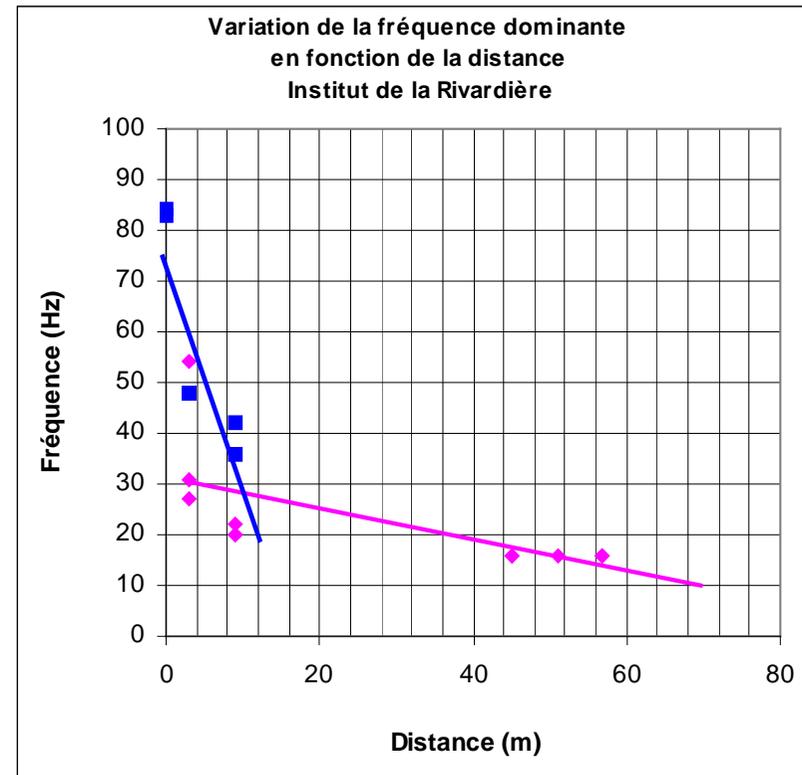
Les risques identifiés peuvent être limités - études complémentaires à réaliser pendant les études d'exécution

Evaluation du risque vibratoire dans les projets ferroviaires

Exemple d'étude spécifique : Structure d'accueil

•Résultats : mesures dans le sol

— Frappe à la masse
— Passage tracteur



- Fréquences propres du sol inférieures à 20 Hz (autour de 15 Hz)
- Idem sur site voisin (étude sur établissement hospitalier)

Evaluation du risque vibratoire dans les projets ferroviaires

Exemple : Ligne nouvelle LGV

Mesures sur site

- Les mesures sur site vont permettre d'établir les lois de propagation des ondes dans le sol

Ces lois sont fonction de la nature des formations géotechniques constituant le sol-support du projet.

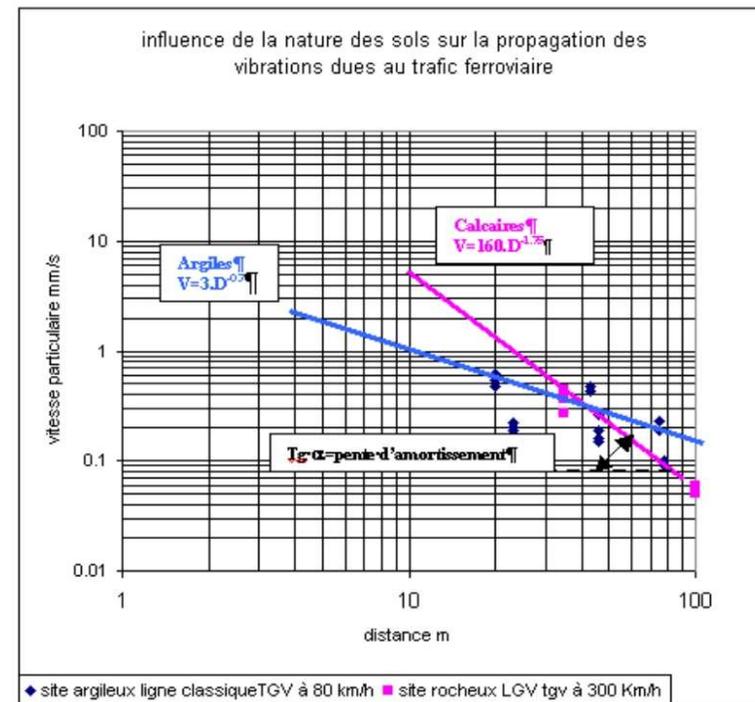
Elles obéissent à une formule générale : $V = KD^{-\alpha}$ avec :

V : vitesse particulière de vibration en mm/s ;

K : coefficient de site ;

D : distance à la ligne en m ;

α : pente d'amortissement des vibrations liée aux sols.



Evaluation du risque vibratoire dans les projets ferroviaires

Exemple : Ligne nouvelle LGV

Mesures sur site

•Loi de propagation variable en fonction du sol support pour des formations lithologiques du même type



•Evaluer ces lois in situ

