# ETUDE DE LA STABILISATION DYNAMIQUE SUR DES OA

## RAPPORT

JUILLET 2016






Rédigé par :
Mohamed CHOUCHANE
& Huyen NGUYEN
huyen.nguyen@reseau.sncf.fr

Vérifié par :
Muriel Ragueneau
muriel.ragueneau@reseau.sncf.fr

Approuvé par :
Bernard PLU
Bernard.plu@reseau.sncf.fr



DATE : 15/07/2016
DIFFUSION LIMITEE


SNCF RÉSEAU

1. TABLE DES MATIERES


**1. TABLE DES MATIERES 1**

**2. CONTEXTE 3**

**3. BIBLIOGRAPHIE 3**

3.1. FONCTIONNEMENT DU STABILISATEUR DYNAMIQUE 3
3.2. INTERDICTION DU STABILISATEUR DYNAMIQUE DANS LE MONDE 4
3.3. NORMES NATIONALES ET INTERNATIONALES EN VIGUEUR 5
3.3.1. Normes françaises 5
3.3.2. Normes Américaines 7
3.3.3. Normes Allemande 8
3.3.4. Comparaison des différentes Normes en vigueur 9

**4. FREQUENCES PROPRES DES OUVRAGES MACONNES 10**

**5. ANALYSE DES MESURES EFFECTUEES ENTRE 2000 ET 2003 11**

**6. CONCLUSION 13**

# LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES

Figure 1-1 Photographie de Stabilisateur DGS 42N ..... 4
Figure 1-2 diagramme proposé par l'AFTES (1974) ..... 5
Figure 1-3 Circulaire 86-23 limites vibrations continues ou assimilées ..... 6
Figure 1-4 Circulaire 86-23 limites vibrations impulsionnelles à impulsions répétées ..... 6
Figure 1-5 Fonction de pondération définie par la circulaire 96-52 ..... 7
Figure 1-6 Limites vibratoires pour les maisons en utilisant une combinaison de la vitesse et du déplacement (USBM) ..... 7
Figure 1-7 valeurs limites en vitesse (DIN 4150) ..... 8
Figure 1-8 Comparaison des différentes normes en vigueur ..... 9

# 2. CONTEXTE

Avant l'apparition de l'IN 1902, le retour d'expérience montre que certains ouvrages se dégradent après les RVB avec la stabilisation dynamique. Des essais ont donc réalisés entre 2000 et 2003 afin de mesurer l'impact des stabilisateurs dynamiques de voie sur les ouvrages d'art : plusieurs types d'ouvrages (dalots, aqueducs, voûtes plein cintre, voûtes surbaissées, tabliers à poutrelles enrobées) situés sur le parcours de différents RVB (régions de Lille, Paris Rive Gauche, Lyon, Clermont-Ferrand, Rennes) ont fait l'objet d'une instrumentation.

Le référentiel IN1902 a ensuite été mis à jour en prenant en compte les résultats de ces essais. La version parue en 2008 est celle en vigueur à ce jour.

La reddition des voies est limitée à 40 km/h lorsque l'emploi du stabilisateur dynamique est interdit. Compte-tenu des nombreuses opérations de RVB en zones denses à venir, notamment en Ile de France, la DPF et I&P LVE EVEP souhaiteraient déterminer si certaines contraintes de l'IN 1902 peuvent, ou non, être allégées. **Afin de proposer des pistes d'amélioration, I&P OA réalise :**

- **une étude bibliographique concernant la stabilisation dynamique sur les ouvrages**
- **une analyse des résultats des essais réalisés entre 2000 et 2003**

# 3. BIBLIOGRAPHIE

## 3.1. Fonctionnement du stabilisateur dynamique

Après le bourrage, la voie doit être stabilisée pour retrouver ses propriétés mécaniques. Cette stabilisation peut se faire naturellement par le passage répété de trains ou être accélérée grâce à un procédé de stabilisation dynamique au moyen d'un stabilisateur dynamique. Cet engin est posé sur le rail et fait vibrer horizontalement la voie en lui imposant une charge verticale.

L'utilisation de la stabilisation dynamique permet de :

– rétablir la circulation sur la voie sans ralentissement

– réorganiser les grains,

– augmenter la résistance latérale de la voie,

– homogénéiser la répartition de la compacité,

La stabilisation dynamique a pour principaux paramètres :

– la fréquence de vibration,

– l'amplitude de vibration,

– la charge appliquée verticalement,

– la vitesse de déplacement de l'engin.



**Figure 3-1 Photographie de Stabilisateur DGS 42N**

## 3.2. Interdiction du stabilisateur dynamique dans le monde

Les prescriptions relatives à l'usage des engins d'entretien changent d'un pays à un autre. Ces recommandations sont dictées par l'exploitant de l'infrastructure ferroviaire et il est courant que les informations relatives aux modalités des travaux d'entretien soient définies dans des notes internes, donc peu accessibles au grand public. Par conséquent la recherche dans la littérature de ces informations, à moins qu'il y ait une communication directe avec l'exploitant, s'avère difficile et peu prometteuse. Quelques prescriptions ont tout de même été trouvées :

- Le fascicule 52 des prescriptions techniques relatives aux entreprises de travaux voie Infrabel, le gestionnaire de l'infrastructure ferroviaire belge, précise sans donner plus d'informations que l'utilisation de stabilisateur dynamique sur les ouvrages d'art pourrait être limitée.

- L'australien RailCorp affirme que les vibrations engendrées par les stabilisateurs dynamiques peuvent être très fortes. De plus, les fréquences propres des ouvrages d'art étant faibles, le stabilisateur ne doit pas opérer avec une fréquence en dessous de 40 Hz sur les ouvrages d'art. (la fréquence nominale de cet engin est de 25Hz en France). Le même document autorise le stabilisateur dynamique sur les ouvrages en maçonnerie de portée supérieure à 5m si les parapets contiennent directement le ballast. Les ouvrages sous voie en maçonnerie inférieure à 5 m sont autorisés s'ils présentent 1 m minimum de remblai et s'ils ne présentent pas d'avaries importantes. Tout ouvrage présentant des avaries importantes fera l'objet d'une étude préalable.

- Un autre document de l'ARTC (Australian Rail Track Corporation) limite l'usage des stabilisateurs dynamiques sur les ponts en béton armé de moins de 10 m de portée. Il fixe également la fréquence de stabilisation à 40 Hz sur les ponts.

- Un rapport du ministère de transport indien (maintenance schedule manual for dynamic track stabiliser) recommande de prendre un certain nombre de précautions à l'usage du stabilisateur dynamique. Pour les ponts inférieurs à 4 m aucune restriction n'est demandée si on respecte les limitations de chargement et vitesse de vibration, cependant ces deux limites ne sont pas définies. Pour les ponts de 4 à 12 m le chargement du stabilisateur doit être limité à 40 bar et sa fréquence doit être augmentée jusqu'à 35 Hz. Les ponts de portées supérieures à 12 m ne doivent pas être stabilisés sans avis des services compétents. Dans un autre document du ministère indien il est demandé de régler le stabilisateur à une fréquence supérieure à la fréquence propre de l'ouvrage.

## 3.3. Normes nationales et internationales en vigueur

### 3.3.1. Normes françaises

En termes de réglementation française, nous disposons de trois documents qui réglementent le niveau de vibration dans les structures, qui sont :

#### *3.3.1.1 AFTES (Association Française des Travaux en Souterrain) 1974*

Cette norme s'applique aux bâtiments dans le cadre des tirs aux explosifs. Le critère de vérification est la vitesse particulaire. Il est à noter que la limite de vibration fixée par la norme dépend de la fréquence d'excitation (Figure 3-2).

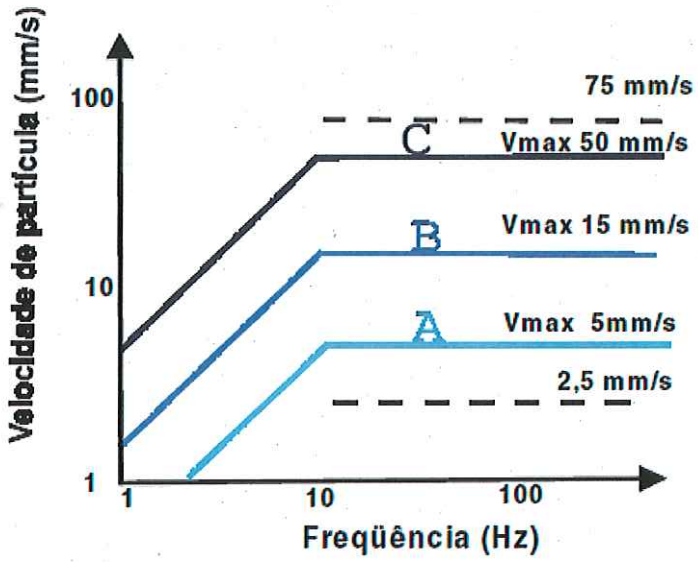



**Figure 3-2 diagramme proposé par l'AFTES (1974)**

**A : bâtiment de basse qualité**

**B : bâtiment de qualité moyenne**

**C : bâtiment de bonne qualité**

### *3.3.1.2 Circulaire 86-23*

La norme s'applique à tous les ouvrages (sauf aux ponts et les barrages), sollicités par des engins classés pour la protection de l'environnement. Le critère de mesure est encore la vitesse particulaire. Les valeurs limites dépendent de la fréquence de l'excitation, de son type (continue ou impulsionnelle) et de l'état de la construction (Figure 3-3 et Figure 3-4).

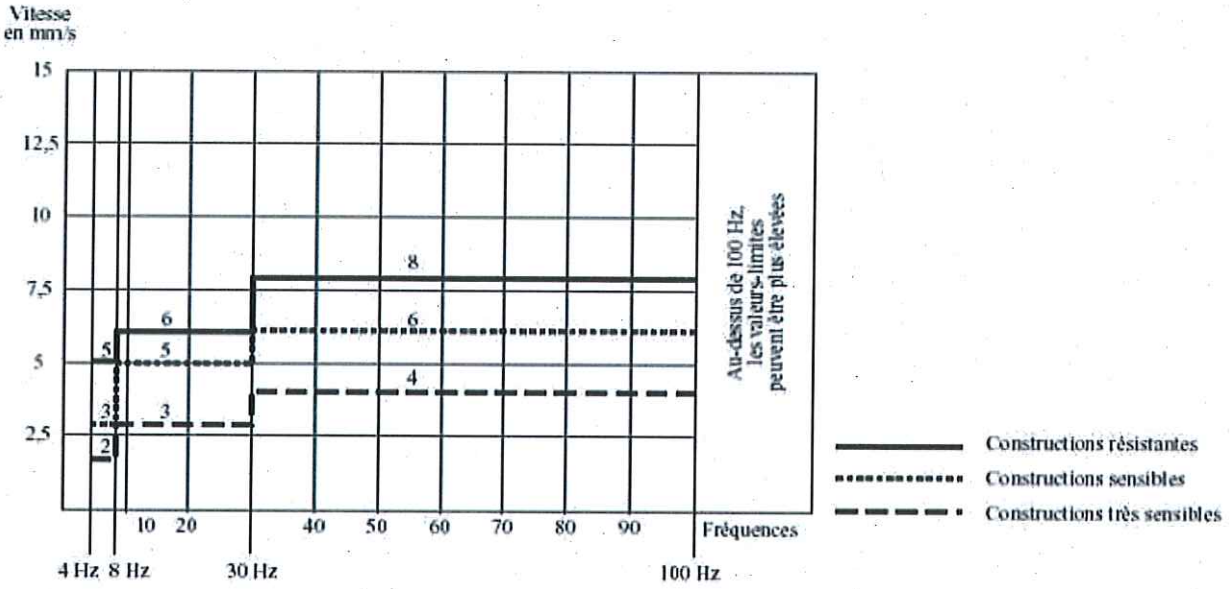



**Figure 3-3 Circulaire 86-23 limites vibrations continues ou assimilées**

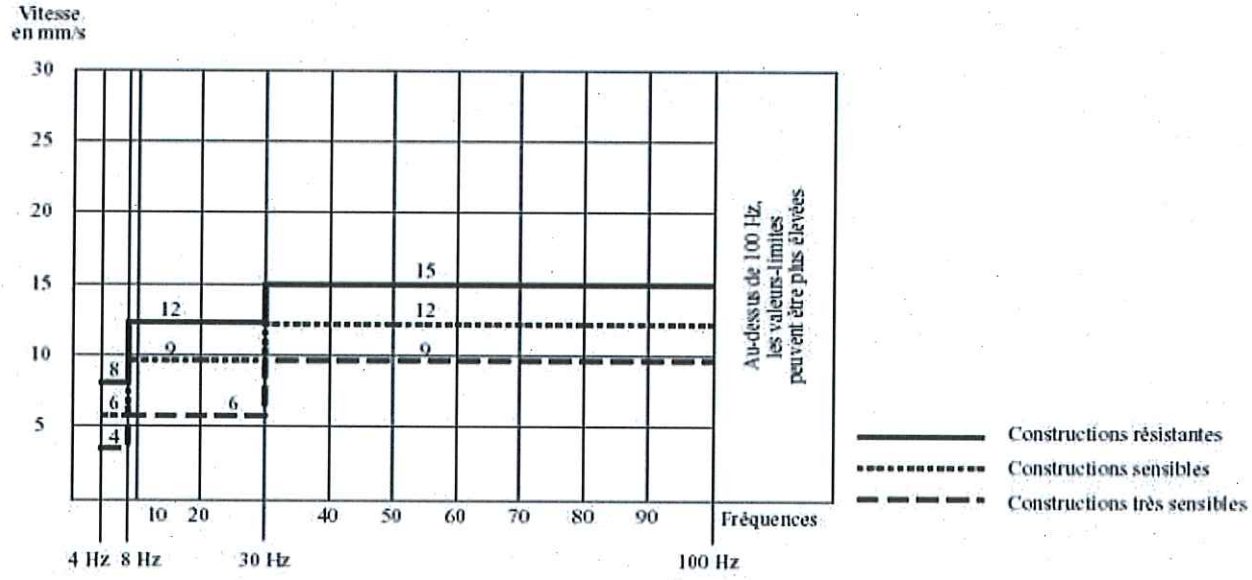



**Figure 3-4 Circulaire 86-23 limites vibrations impulsionnelles à impulsions répétées**

### *3.3.1.3 Circulaire 96-52*

L'apport de cette circulaire par rapport à la 86-23 est la prise en compte des vibrations dues à l'exploitation des carrières (tirs d'explosifs). Le critère de mesure est basé sur les vitesses pondérées. Ces dernières sont calculées à partir des vitesses instantanées mesurées sur l'ouvrage multipliées par une fonction de pondération dans le domaine fréquentielle (Figure 3-5).

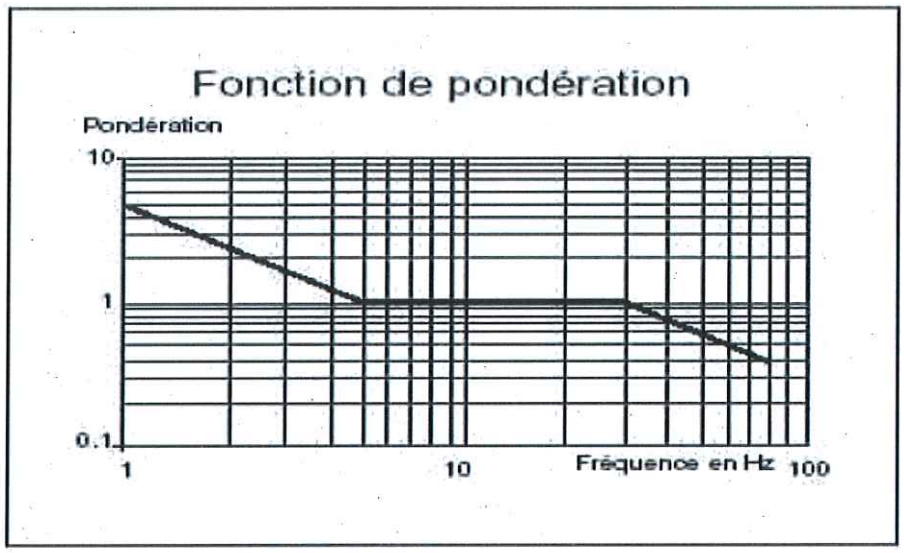



**Figure 3-5 Fonction de pondération définie par la circulaire 96-52**

## 3.3.2. Normes Américaines

USBM (U.S Bureau of Mines) a publié un rapport (RI 8507) en 1980 dans lequel il a étudié l'impact des vibrations induites par les travaux de minage sur les bâtiments. Les limites données dans ce document dépendent de la fréquence de vibration et sont définies à la fois, en vitesse et déplacement (Figure 3-6).

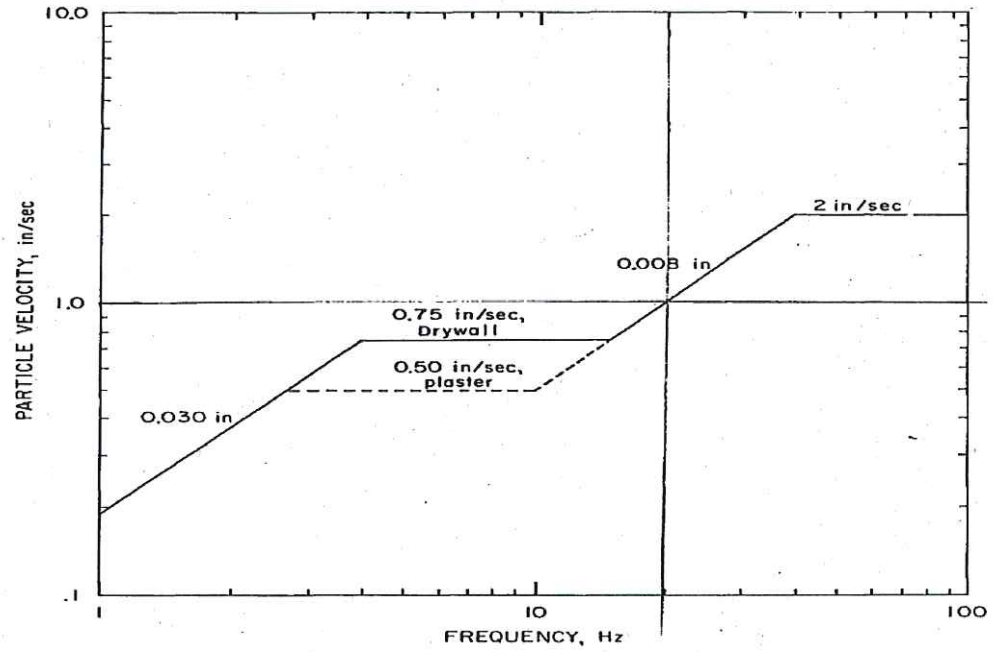



**Figure 3-6 Limites vibratoires pour les maisons en utilisant une combinaison de la vitesse et du déplacement (USBM)**

### 3.3.3. Normes Allemande

La DIN 4150 est une des normes de référence en termes de limitation de vibrations dynamiques dans le bâtiment. Elle est citée dans plusieurs documents et normes dans le monde. Elle est applicable aux bâtiments qui n'étaient pas vérifiés en dynamique au moment de leur construction. Les valeurs limites en vitesse dépendent de la fréquence dominante de vibration et du type de structure (Figure 3-7 et Tableau 3-1).

| Line | Type of Structure | Vibration peak particle Velocity (mm/s) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Foundation Frequency | | | Plane of Floor of Uppermost Storey |
| | | Less than 10 Hz | 10 to 50 Hz | 50 to 100* Hz | Frequency Mixture |
| 1 | Buildings used for commercial purposes, industrial buildings and buildings of similar design | 20 | 20 to 40 | 40 to 50 | 40 |
| 2 | Dwellings and buildings of similar design and/or use | 5 | 5 to 15 | 15 to 20 | 15 |
| 3 | Structures that, because of their sensitivity to vibration, do not correspond to those listed in lines 1 and 2 and are of great intrinsic value (eg buildings that are under a preservation order) | 3 | 3 to 8 | 8 to 10 | 8 |

**Tableau 3-1 valeurs limites en vitesse (DIN 4150)**

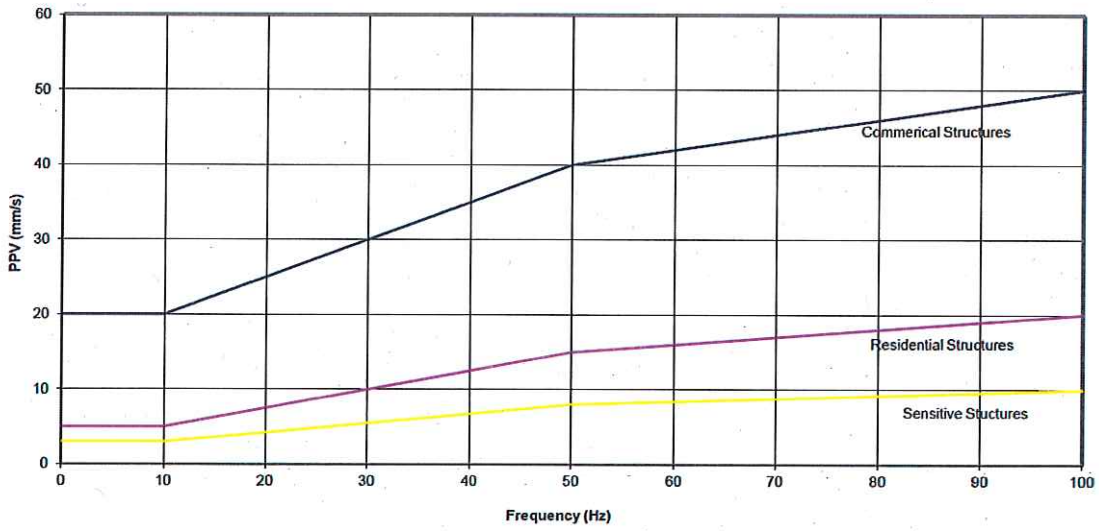



**Figure 3-7 valeurs limites en vitesse (DIN 4150)**

### 3.3.4. Comparaison des différentes Normes en vigueur

Le graphique ci-dessous permet de positionner la réglementation française par rapport aux autres pays. Il est à noter qu'il est parfois difficile d'effectuer une comparaison entre les différentes limites car le niveau de dommage pris en compte, la sensibilité de bâtiment et le type de sollicitations ne sont pas forcément les mêmes.

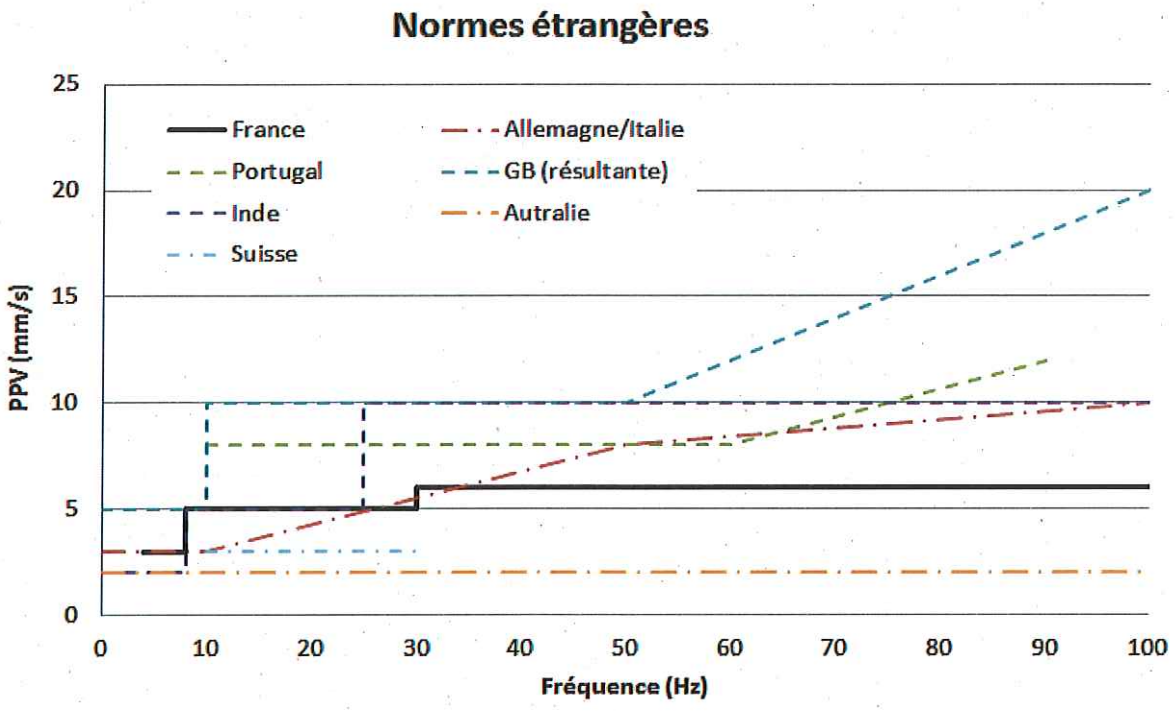



**Figure 3-8 Comparaison des différentes normes en vigueur**

Les valeurs limites diffèrent selon les pays, mais les points en communs entre toutes ces normes sont :

- le choix de la vitesse comme critère
- la dépendance entre vitesse limite et la fréquence dominante

La vitesse présente l'avantage de mesurer l'énergie cinétique du mouvement et permet d'accéder à la contrainte maximale due au chargement dynamique.

**Trois paramètres importants entre en jeu :**

- Le paramètre physique à mesurer (vitesse) ;
- La durée de vibration.
- La Fréquence dominante de l'excitation.

**Il est important de rappeler que les ponts en maçonnerie ont des fréquences propres plus élevés de celles des bâtiments, par conséquent, les limites et fonctions de pondération établies pour les bâtiments doivent être adaptées pour les ponts en maçonnerie.**

# 4. FREQUENCES PROPRES DES OUVRAGES MACONNES

L'étude bibliographique à démontrer l'importance de la fréquence propre des ponts dans la définition des valeurs limites en vibration. Il est difficile de déterminer avec précision les fréquences propres des ponts en maçonnerie à l'aide de modélisations numériques. Des résultats d'instrumentations sur des ouvrages en maçonnerie sont donnés dans les tableaux ci-dessous :

| Pont | Portée [m] | Nb d'arche | Portée totale [m] | Type | 1er fréquence verticale [Hz] |
|---|---|---|---|---|---|
| **Aspendos** | 16 | 7 | 220 | voute en ogive | 6 |
| **Pehlivanlı** | 15 | 1 | 73 | voute en ogive | 5 |
| **Mikron** | 19.5 | 1 | 33.8 | plein cintre | 6 |
| **Osmanlı** | 25 | 2 | 52 | plein cintre | 5 |
| **Senyuva** | 24.8 | 1 | 52.5 | plein cintre | 4 |
| **Senyuva** | 15 | 8 | 155 | voute en ogive | 5 |

| Pont | Portée [m] | Nb d'arche | Fréquence verticale [Hz] |
|---|---|---|---|
| **CGJ7/34** | 7.6 | 1 | 14 |
| **CGJ7/103** | 13.5 | 3 | 13 |
| **CGJ7/201** | 4.5 | 1 | 12 |
| **LEC1/120** | 4.6 | 5 | 14 |

Ces quelques résultats donnent un ordre de grandeur des fréquences propres des ouvrages en maçonnerie, pour les ouvrages de portées supérieures à 15m, les fréquences verticales sont entre 4 et 6Hz et pour les portées plus courtes les fréquences varient entre 12 et 14Hz.

## 5. ANALYSE DES MESURES EFFECTUEES ENTRE 2000 ET 2003

La campagne d'essais effectuée dans les années 2000-2003 concerne 17 ouvrages de différents types :

| Type de Ponts Rail | Nombre d'ouvrages instrumentés | Rapports archivés par IPOA |
|---|---|---|
| Dalot | 1 | |
| Aqueduc à voûte plein cintre | 7 | 6 |
| PRA à voûte surbaissée | 3 | 3 |
| PRA à voûte plein cintre | 2 | 2 |
| Tablier à poutrelles enrobées | 4 | |

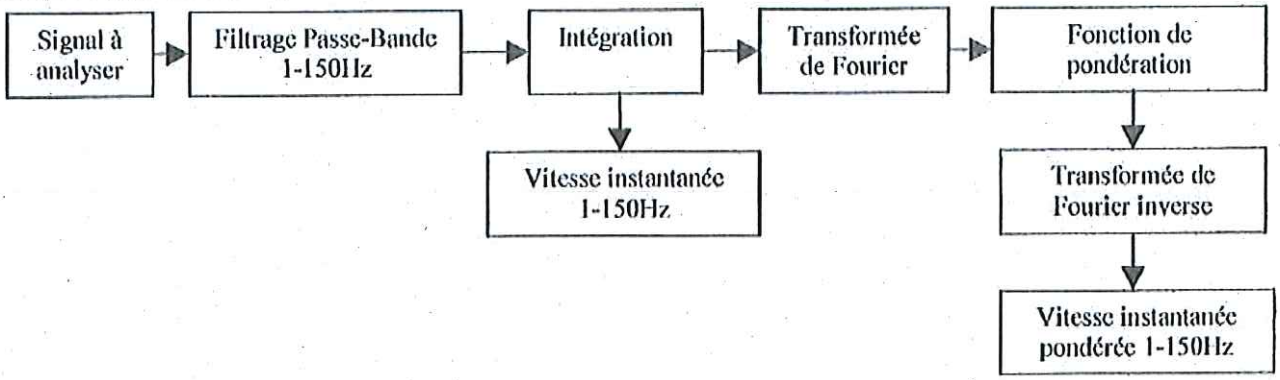
Des accéléromètres ont été fixés sur chaque ouvrage pour mesurer l'accélération sous le passage des stabilisateurs dynamiques, des bourreuses, d'au moins un train voyageur (Corail, TER, TGV) et dans certains cas des convois fret. La composante verticale de l'accélération est mesurée systématiquement dans tous les cas, les composantes transversale et longitudinale sont enregistrées pour certains ouvrages.

**Liste des ouvrages dont les données ont été retraitées est donnée ci-après :**

| PK | Type | Etat | Autorisé Selon IN 1902 |
|---|---|---|---|
| 790000, PK451+463 | Plein cintre (PC) portée 3m | Non communiqué | Cela dépend de l'état |
| 272000, PK206+190 | Plein cintre portée 5m | Bon | Oui car BON ETAT et Longueur totale <20m |
| 420000, PK380+835 | Voute Surbaissé portée 8m | bon | Non car oa sensible |
| 570000, PK73+268 | Voute Surbaissé portée 8m | NC | Non car oa sensible |
| 301000, PK250+610 | Voute Surbaissé portée 10m | NC | Non car oa sensible |
| 301000, PK249+734 | PC brique 1m (Hydraulique) | Moyen | Oui car sans pathologie grave |
| 301000, PK251+754 | PC brique 1m (Hydraulique) | Très bon | Oui car sans pathologie grave |
| 301000, PK 254+698 | PC brique 1m (Hydraulique) | Moyen | Oui car sans pathologie grave |
| 301000, PK255+158 | PC brique 1m (Hydraulique) | Moyen | Oui car sans pathologie grave |
| 301000, PK258+840 | PC brique 1m (Hydraulique) | Moyen | Oui car sans pathologie grave |
| 301000, PK260+189 | PC brique 1,5m (Hydraulique) | Bon | Oui car sans pathologie grave |

**Traitement des données** :

A partir des accélérations, un filtrage Passe-Bande entre 1Hz et 150Hz est appliqué avant de faire l'intégration pour obtenir la vitesse instantanée filtrée à 1Hz-150Hz. Le synoptique de traitement est présenté dans la figure au-dessous :



Comme l'impact des vibrations sur les ouvrages est caractérisé à la fois par les grandeurs comme le déplacement, la vitesse, l'accélération mais aussi par la durée de la sollicitation, les valeurs crêtes ne sont pas représentatives. C'est la raison pour laquelle la vitesse efficace est obtenue en réalisant une moyenne quadratique (avec n=1200 mes/sec-vitesse d'acquisition). Dans la suite, toutes les comparaisons sont réalisées avec cette moyenne.

Concernant les 11 ouvrages dont les archives sont disponibles, on note que le stabilisateur est beaucoup plus agressif dans les deux directions que les circulations en service (voyageurs ou fret) ; Il est également plus agressif que la bourreuse. **On note le dépassement du critère pour les voutes surbaissées.**

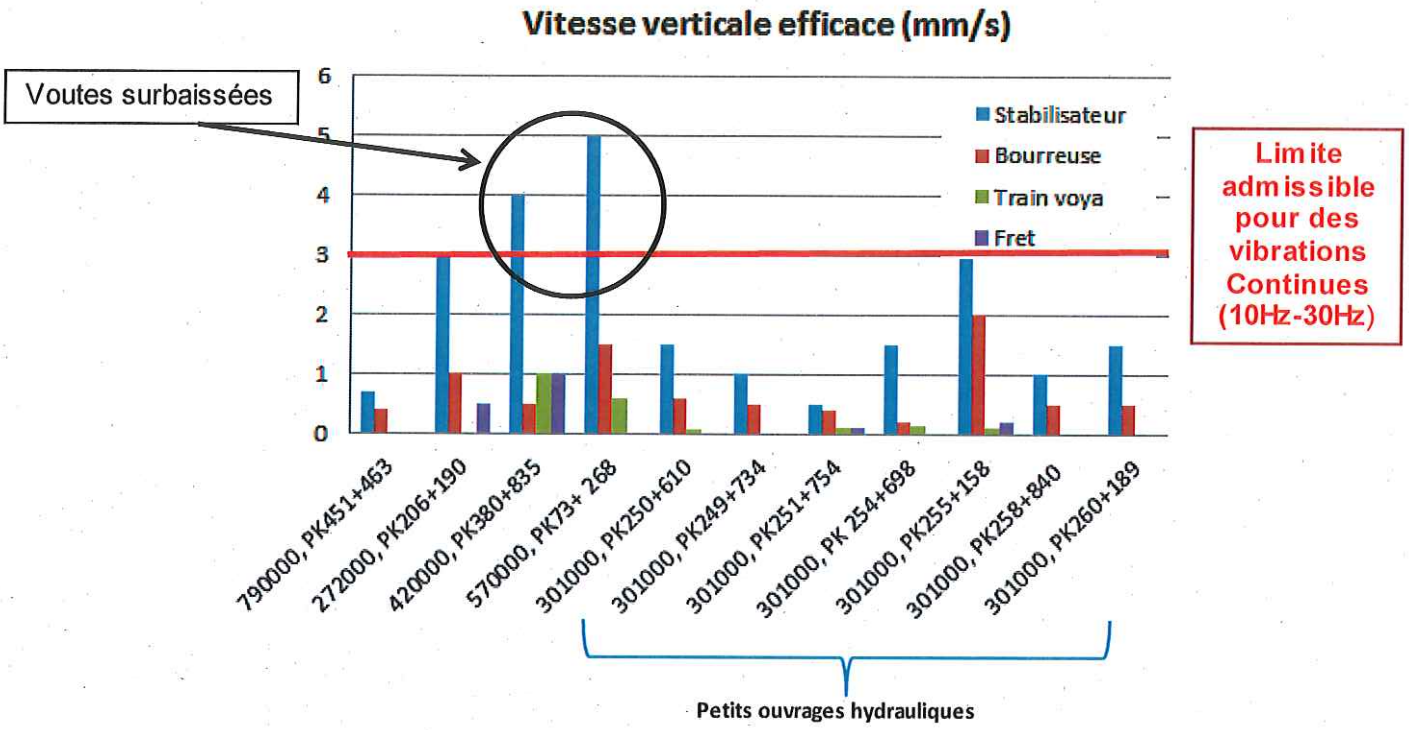



**Figure 5-11 Comparaison des Vitesses efficaces pondérées verticales à la clé**

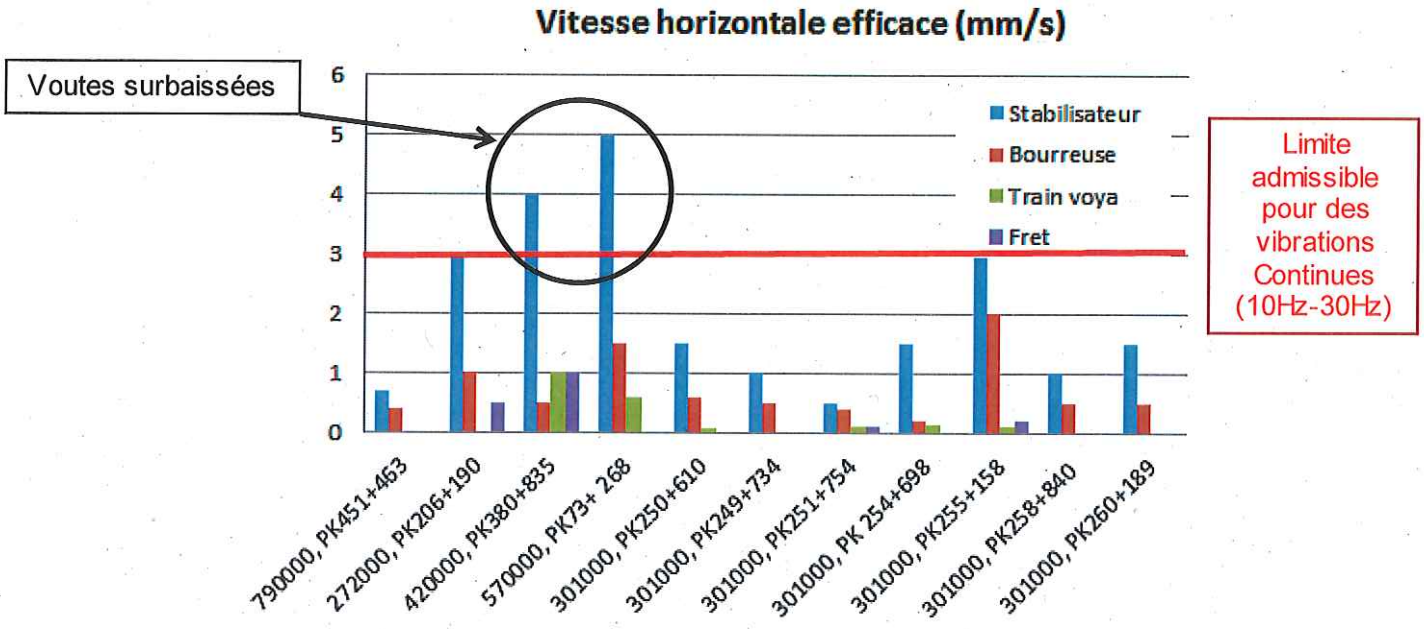



**Figure 5-12 Comparaison des Vitesses efficaces pondérées horizontales à la clé**

NOTA : Le mode de vibration des bourreuses ou des trains est à impulsions répétées et la vibration sous les stabilisateurs est continue. Par conséquent, **les limites admissibles sont différentes pour ces deux types de vibrations (voir figure 1.3 et 1.4).** L'effet des trains et de la bourreuse est donc très inférieur aux limites admissibles pour des vibrations à impulsions répétées (limite de 6 mm/s pour des fréquences entre 10 et 30HZ).

## 6. CONCLUSION

L'étude bibliographique et l'analyse des essais confirment qu'il est impératif de limiter les vibrations sur les structures sensibles telles que :

- les voutes surbaissées
- les murs en maçonnerie
- les ouvrages d'art en maçonnerie présentant des avaries graves.

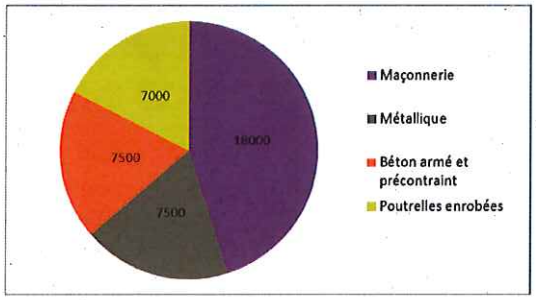
**Le RFN compte 100 000 ponts rails dont :**

✓ **60 000 ouvrages de portées de moins de 2 m** dont les visites détaillées sont confiées aux infrapoles. Ces ouvrages ne doivent être interdits que s'ils présentent une faible couverture (inférieure à deux fois l'ouverture) et des avaries graves suivantes :
- Dalles de couvertures en pierre ou en béton armé cassées,
- Dislocations de piédroits,
- Fractures sur buses ou ovoïdes en béton non armé.

Tous les ouvrages en avaries graves sont connus et listés par les infrapoles, seuls ces ouvrages doivent être interdits au stabilisateur. A noter que des travaux sur ces ouvrages doivent être programmés (U0 /U1), il serait pertinent de les anticiper avant le RVB.

✓ **40 000 ouvrages d'art de portées de plus de 2m** dont :

- 18 000 ouvrages en maçonnerie (14 000 voutes dont 80% plein cintre et 20% surbaissées)
- 22 000 tabliers non concernés par les interdictions (tabliers à poutrelles enrobées, béton armé, métalliques)




L'IN 1902 interdit le stabilisateur sur les ouvrages sensibles (voutes surbaissées, murs en maçonnerie) ou présentant des avaries graves :

Une première piste d'amélioration est donc de veiller à la bonne application de cette IN :

- NE PAS INTERDIRE le stabilisateur sur les nombreux petits ouvrages dont la hauteur de couverture est supérieure à deux fois l'ouverture. Ces ouvrages sont très nombreux sur le RFN, compte tenu de la couverture importante par rapport à l'ouverture, le stabilisateur ne sera pas néfaste pour ces structures même si leur état est médiocre.
- NE PAS INTERDIRE le stabilisateur sur les petits ouvrages sous voies ayant une faible couverture et en BON ET MOYEN ETAT (les ouvrages avec de faibles couvertures et en mauvais état doivent être interdits)
- NE PAS INTERDIRE le stabilisateur sur les voutes plein cintre en BON ETAT.

Une deuxième piste d'amélioration serait de consulter les experts d'IPOA pour les ouvrages complexes ou en présence de pathologies complexes, IPOA évaluera si ces ouvrages et/ou pathologies sont suffisamment sensibles ou graves pour interdire le stabilisateur (le nombre d'ouvrages complexes est limité sur le RFN).
Enfin, une dernière piste d'optimisation est à l'étude pour optimiser la hauteur de couverture à partir de laquelle même les petits ouvrages (<2m) avec pathologie pourraient être autorisés.