

Référentiels EPSF

Recommandation

Matériel

Moyen acceptable de conformité

Envois de ballast

SAM X 012

Applicable sur : RFN

Edition du 13/02/2015

Version n° 1 du 13/02/2015

Applicable à partir du : 13/02/2015

SOMMAIRE

Avant-propos	4
1 Objet et domaine d'application.....	5
2 Terminologie	5
3 Références documentaires	6
4 Organisation des essais.....	6
5 Méthodes d'évaluation de la charge aérodynamique.....	7
5.1 Evaluation complète.....	7
5.2 Evaluation par simulation numérique	7
6 Limite de charge aérodynamique.....	8
7 Critères d'acceptabilité vis-à-vis de l'envol de ballast	9
8 Estimation explicite des risques.....	9
9 Autres méthodes d'évaluation du comportement d'un matériel vis-à-vis des envois de ballast	9
10 Conformité et procédures de validation	9
Annexe 1 - Procédure d'essais	11
1 GLOSSAIRE	11
2 CONDITIONS DE REALISATION DE L'ESSAI	11
Caractéristiques de la voie.....	11
Caractéristiques du matériel	12
Vitesse et nombre de passages.....	12
Conditions météorologiques	12
3 DESCRIPTIFS DES MESURES	13
Mesures de la vitesse d'air	13
Mesures météorologiques.....	13
Mesures de la vitesse du train	14
Incertitudes de mesures.....	14
4 TRAITEMENT DES SIGNAUX	14
5 DOCUMENTS DE SORTIE	15
Annexe 2 - Comparaison SAM/Norme.....	17
Annexe 3 - Bibliographie.....	21

Avant-propos

Ce texte constitue un moyen acceptable de conformité. Conformément à l'article 4.I de l'arrêté du 19 mars 2012, la prise en compte de ses dispositions permet de présumer le respect des exigences réglementaires applicables.

Toutefois, ceci ne fait pas obstacle à la mise en œuvre par les entités concernées de solutions différentes de celles proposées par le présent texte comme prévu à l'article 4. III de l'arrêté susmentionné.

1 Objet et domaine d'application

Ce document traite de la vérification de l'acceptabilité des véhicules ferroviaires au regard des envois de ballast. Il expose les essais d'évaluation du chargement aérodynamique d'un matériel sur une voie ballastée, en précise la mise en œuvre et indique les valeurs de référence à utiliser sur le réseau ferré national.

Il s'applique au matériel roulant neuf ou modifié substantiellement, dont la vitesse maximale de conception est supérieure ou égale à 200 km/h, devant circuler sur le réseau ferré national et les réseaux présentant des caractéristiques d'exploitation comparables à celles du réseau ferré national.

Ce texte constitue un moyen acceptable de conformité vis-à-vis des articles suivants de l'Arrêté du 19 mars 2012 :

Art. 49. – Sans préjudice du respect d'autres réglementations en vigueur telles que celles prévues en matière environnementale, de santé et de sécurité au travail, ou relatives aux personnes à mobilité réduite, tout matériel roulant respecte les exigences suivantes :

q) Les matériels roulants sont conçus et réalisés de manière à limiter la génération de bruit et de vibrations. Leurs effets aérodynamiques ne doivent pas constituer un danger pour les trains croiseurs, les riverains ou les personnes stationnant dans les conditions de sécurité requises sur les quais des établissements ;

Il couvre les points ouverts suivants de la future STI relative au sous-système «matériel roulant» – «Locomotives et matériel roulant destiné au transport de passagers» du système ferroviaire transeuropéen fusionné :

4.2.6.2.5 Effet aérodynamique des voies ballastées

(2) L'exigence de l'effet aérodynamique des trains sur les voies ballastées afin de limiter les risques induits par la projection de ballast (envol de ballast) est un point ouvert.

2 Terminologie

Charge aérodynamique : Sollicitation exercée sur le ballast de la plateforme due aux variations de pression de l'air induites par le passage du train.

P : Puissance d'un signal de vitesse d'air au carré $|v(t)|^2$: répartition moyenne de l'énergie du signal sur un intervalle de temps donné :

$$P(t_1, t_2) = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} |v(t)|^2 dt$$

P_T : Puissance totale d'un ensemble de N capteurs. Elle est égale à la somme des puissances obtenues sur l'ensemble des N capteurs.

μ_{train} : Valeur moyenne de la distribution de puissance totale sur l'ensemble des passages pour un train donné.

σ_{train} : Ecart-type de la distribution de puissance totale sur l'ensemble des passages pour un train donné.

PCEB : Paramètre caractéristique du chargement aérodynamique vis-à-vis de la problématique envol de ballast :

$$PCEB = \mu_{train} + \sigma_{train}$$

US : Unité simple : ou encore appelé élément : un élément est un ensemble de véhicules reliés entre eux de façon permanente. Ces véhicules sont indissociables en exploitation, mais éventuellement dissociables lors des opérations de maintenance.

UM : Unité multiple : il s'agit d'un train composé de plus d'une unité simple

V_{ref} : Vitesse de référence du train. Correspond à la vitesse pour laquelle l'évaluation est réalisée.

CFD : Computational fluid dynamics / mécanique des fluides numérique.

GAME : Globalement Au Moins Equivalent

AeroTRAIN : Projets de recherche de l'UE (FP7-TRANSPORT)

3 Références documentaires

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, c'est l'édition valable à la date de parution de la SAM qui s'applique.

- Décision (UE) n°2008/23 : STI relative au sous-système «matériel roulant» du système ferroviaire transeuropéen à grande vitesse du 21 février 2008;
- Décision (UE) n°2008/217 : STI relative au sous-système «infrastructure» du système ferroviaire transeuropéen à grande vitesse du 20 décembre 2007 ;
- Décret n°2006-1279 du 19 octobre 2006 modifié relatif à la sécurité des circulations ferroviaires et à l'interopérabilité du système ferroviaire.
- Arrêté du 19 mars 2012 fixant les objectifs, les méthodes, les indicateurs de sécurité et la réglementation technique de sécurité et d'interopérabilité applicables sur le réseau ferré national
- NF EN 14067-1 et 2 : 2003 Applications ferroviaires – Aérodynamique ;
- NF EN 14067-4 (2013-12-27) : Applications ferroviaires – Aérodynamique - Partie 4 : exigences et procédures d'essai pour l'aérodynamique à l'air libre
- ISO 8756:1994 (1994-01-15) : Qualité de l'air. Traitement des données de température, de pression et d'humidité.
- NF EN ISO/CEI 17025 (2005-09-01) : Exigences générales concernant la compétence des laboratoires d'étalonnages et d'essais
- SAM X 009 (version 2 du 13/12/2013) Reconnaissance des résultats d'essais

4 Organisation des essais

Pour l'organisation des essais il est nécessaire d'appliquer le guide de SNCF Réseau pour les essais (Circulation de trains d'essais RFN -CG- MR 03 H-01-N°001) ainsi que Document de référence du réseau ferré national Chapitre 2 § 2.9.3. Conditions d'accès au réseau ferré national - Mise en circulation de trains d'essai.

L'organisme en charge du déroulement des essais doit être sélectionné selon la SAM X009 (version 2 du 13/12/2013).

5 Méthodes d'évaluation de la charge aérodynamique

La méthode d'évaluation à appliquer pour un matériel grande vitesse ($V > 250 \text{ km/h}$) est la méthode complète décrite au §5.1.

Pour un matériel grande vitesse présentant des différences mineures par rapport à un matériel ayant déjà fait l'objet d'une évaluation par la méthode complète, une méthode simplifiée est proposée au §5.2.

La méthode d'évaluation décrite dans l'annexe A de l'EN14067 peut également être utilisée pour l'évaluation du chargement aérodynamique. Les conditions d'utilisation de cette méthode sont fournies au §7.

5.1 Evaluation complète

La procédure d'évaluation du chargement aérodynamique d'un matériel à grande vitesse ($V \geq 250 \text{ km/h}$) sur une voie ballastée est décrite à l'annexe 1 « Procédure d'essais »

Elle précise notamment les points suivants :

- le descriptif des conditions générales de l'essai (caractéristiques du site, du matériel,...),
- le descriptif détaillé des mesures à réaliser,
- le descriptif de la méthodologie de traitement des signaux mesurés,
- les résultats attendus.

La vérification de l'acceptabilité du matériel est effectuée par comparaison aux valeurs limites de référence fournies au §6. Le chargement aérodynamique du matériel évalué doit être inférieur au chargement de référence (cf. §7).

5.2 Evaluation par simulation numérique

Une évaluation simplifiée du chargement aérodynamique peut être effectuée pour le matériel roulant sujet à des différences de conception mineures par rapport au matériel roulant pour lequel il existe déjà une évaluation complète.

Concernant l'envol de ballast, les seules différences de conception pertinentes sont les différences de géométrie externe du dessous de caisse et les différences de vitesse de conception et/ou d'exploitation.

Cette évaluation simplifiée doit prendre l'une des formes suivantes, conformément au tableau ci-dessous :

- une déclaration et un argumentaire selon lesquels les différences de conception n'ont aucun impact sur le phénomène d'envols de ballast ;
- une évaluation comparative des différences de conception avec le matériel roulant pour lequel il existe déjà une évaluation complète de la conformité.

Tableau 1 — Méthodes et exigences applicables à l'évaluation simplifiée du chargement aérodynamique sur la voie

Différences de conception	Méthodes et exigences
Différences de géométrie externe limitées à la région interne de la partie inférieure du train (sous le train et entre les rails) ; Différences mineures de la géométrie externe sous caisse : petits objets isolés et saillants et cavités inférieurs à 100mm dans chaque dimension.	Documentation des différences, déclaration de non impact et référence à une évaluation complète existante
Autres différences de la géométrie externe sous caisse	Documentation des différences et référence à une évaluation complète existante ET évaluation de l'effet relatif des différences sur le chargement aérodynamique par simulations CFD (conformément aux indications générales relatives à la CFD de la partie 4 de l'EN14067)
Augmentation de la vitesse de conception : - supérieure à 10% pour un train ayant une vitesse de conception < 250km/h - pour un train ayant une vitesse de conception ≥ 250km/h	Documentation des différences et référence à une évaluation complète existante ET évaluation de l'impact de cette évolution sur le chargement aérodynamique (par simulation CFD ou une autre méthode validée)

6 Limite de charge aérodynamique

Le chargement aérodynamique exercé par un train sur la voie pour une vitesse donnée (V_{ref}) est déterminé à partir des signaux de vitesse d'air aux 6 positions indiquées sur la figure 1. Il est caractérisé par une valeur moyenne $\mu_{train}(V_{ref})$ et un écart-type $\sigma_{train}(V_{ref})$. La méthode de calcul de ces grandeurs est détaillé au §4 de l'annexe 1.

La valeur représentative du chargement est alors défini par :

$$PCEB = \mu_{train} + \sigma_{train}$$

La valeur limite de référence du chargement aérodynamique $PCEB_{ref}$ retenu sur RFN (1) pour un matériel grande vitesse ($V \geq 250\text{km/h}$) et pour une vitesse de référence de 320km/h est égale à : **9200 m²/s²**

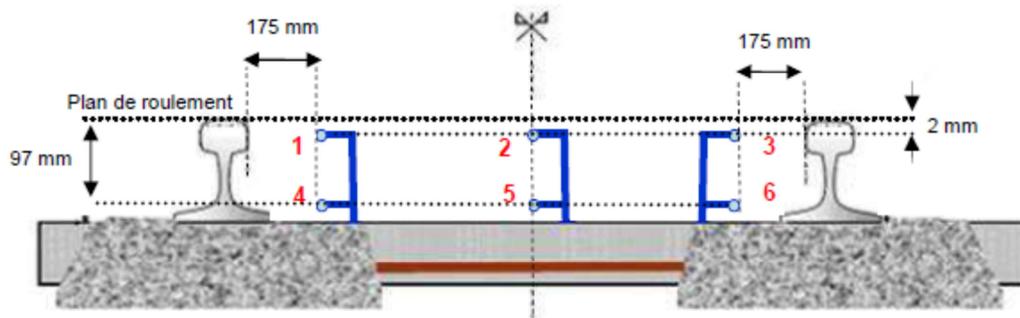


Figure 1 : position des capteurs

(1) Ces limites ont été obtenues à partir de mesures réalisées en 2009 lors du processus d'admission de l'ICE3 en unité multiple (UM).

7 Critères d'acceptabilité vis-à-vis de l'envol de ballast

La vérification de l'acceptabilité d'un matériel à grande vitesse ($V \geq 250\text{km/h}$) est effectuée par comparaison aux valeurs limites de référence fournies au §6. Le chargement aérodynamique du matériel évalué doit être inférieur au chargement de référence.

$$\text{PCEB (train évalué)} < \text{PCEBref}$$

Dans le cas d'une évaluation du chargement dans les conditions décrites au §5.2 (évaluation simplifiée pour un matériel sujet à des modifications mineures par rapport à un matériel existant), la vérification de l'acceptabilité du matériel est réalisée en démontrant que la variation du chargement aérodynamique sur la voie due à l'évolution du matériel n'entraîne pas un dépassement des valeurs de référence fournies au §6.

Dans le cas de l'évaluation du chargement aérodynamique par utilisation de la méthode d'essai décrite dans l'annexe A de la norme EN14067-4 :2013 une comparaison du chargement obtenu pour le matériel à évaluer avec celui obtenu pour un matériel ayant fait la preuve d'absence de problème d'envols de ballast sur une voie française en conditions normales d'exploitations doit être alors effectuée (GAME). Cette comparaison doit être réalisée en utilisant le paramètre caractéristique du chargement aérodynamique PCEB défini au §6

La méthode de vérification de l'acceptabilité d'un matériel de vitesse de conception supérieure ou égale à 200km/h mais inférieure à 250km/h n'est pas détaillé dans cette version du document. Une méthode adaptée au matériel concerné sera à proposer pour validation à l'entité chargée de vérifier la conformité vis-à-vis de ce point réglementaire.

8 Estimation explicite des risques

Une estimation explicite des risques peut être faite sur la base de l'annexe A de la norme EN 14067-4 : 2013 et du rapport public AeroTRAIN WP2 de 2012.

9 Autres méthodes d'évaluation du comportement d'un matériel vis-à-vis des envols de ballast

D'autres méthodes d'essai, notamment par le comptage des impacts de ballast sur le train pendant des circulations en ligne, permettent d'évaluer le comportement d'un matériel vis-à-vis de la problématique d'envols de ballast.

Ces méthodes sont plus particulièrement intéressantes vis-à-vis des risques de détérioration d'équipements installés sous caisse. Elles permettent également d'acquérir des informations complémentaires sur le comportement du train vis-à-vis des envols de ballast.

Une de ces méthodes fait l'objet d'un brevet :

Brevet FR 2938490 (A1) PROCEDE ET SYSTEME DE DETECTION D'IMPACTS SUR DES ZONES A SURVEILLER D'UN VEHICULE ROULANT

10 Conformité et procédures de validation

La procédure doit être conforme à celle décrite par le décret 2006-1279.

Le dossier à présenter, rédigé en français doit comprendre toutes les pièces techniques nécessaires à la démonstration de conformité du matériel roulant au regard de la prévention du risque engendré par les envols de ballast.

Les documents sont précisés à l'annexe 1

== O ==

Annexe 1 - Procédure d'essais

Cette spécification d'essais a pour but de décrire les essais à réaliser pour caractériser le chargement aérodynamique d'un matériel à grande vitesse ($V \geq 250 \text{ km/h}$) sur une voie ballastée.

1 GLOSSAIRE

V_{train} : Vitesse de passage du train sur la zone d'essai mesurée à l'aide d'un dispositif validé.

V_{pitot} : Vitesses d'air mesurées au passage du train à l'aide de tubes de Pitot.

V_{ref} : Vitesse de référence du train. Correspond à la vitesse pour laquelle l'évaluation est réalisée.

P : Puissance d'un signal. Cette puissance correspond à la répartition moyenne de l'énergie du signal sur un intervalle de temps donné:

$$P(t_1, t_2) = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} |v(t)|^2 dt$$

P_T : Puissance totale d'un ensemble de N capteurs. Elle est égale à la somme des puissances obtenues sur l'ensemble des N capteurs :

$$P_T(t_1, t_2) = \sum_{\text{Capteur } 1}^{\text{Capteur } N} \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} |v(t)|^2 dt$$

μ_{train} : Valeur moyenne de la distribution de puissance totale sur l'ensemble des passages du train considéré.

σ_{train} : Ecart-type de la distribution de puissance totale sur l'ensemble des passages du train considéré.

2 CONDITIONS DE REALISATION DE L'ESSAI

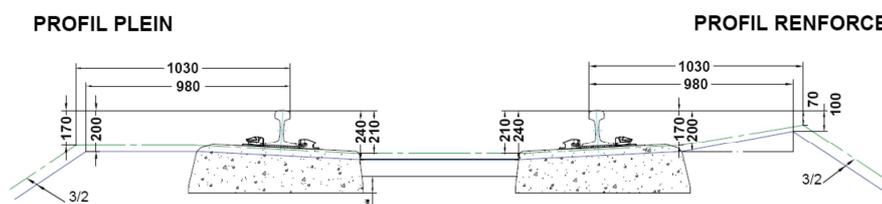
Caractéristiques de la voie

Caractéristiques de la voie d'essais

La voie d'essais doit respecter les spécifications de la STI Infra-GV :

- conception classique des voies ballastées avec un rail Vignole (fond plat) posé sur des traverses en béton :
 - ✓ Traverses béton bibloc B 450 PI
 - ✓ Rail profil 60 E2 défini à l'annexe F de la STI Infra-GV.

Le profil de ballast est celui mis en œuvre pour les LGV Est Européenne, LGV Rhin-Rhône et les LGV futures à $V > 300 \text{ km/h}$.



Site d'essais

Le site d'essais doit être correctement choisi, de façon à être représentatif de la voie sur laquelle sera exploité le matériel à caractériser et de façon à garantir la qualité des signaux mesurés.

La voie sur la zone de mesure doit être en alignement et en palier et ne doit pas comporter de composants d'infrastructure (appareils de voie, équipements de signalisation) à côté de la voie et sur la voie pouvant perturber l'écoulement sous caisse au passage des trains.

Ceci s'applique à la zone de mesure ainsi que 100 m en amont et 20 m en aval de celle-ci.

Des emplacements de mesure atypiques, pouvant perturber l'écoulement d'air induit autour du train (ponts, ouvrages d'art, écran acoustique, etc.), doivent également être exclus.

Le descriptif détaillé du site devra être fourni dans le rapport d'essais.

Les travaux de voie ayant eu lieu moins d'une semaine avant le déroulement des essais et pouvant modifier les caractéristiques de la voie devront également être signalés dans le rapport d'essai.

Caractéristiques du matériel

Le matériel pour lequel les mesures seront réalisées doit être représentatif de la série à caractériser. Toute particularité de la rame par rapport à sa configuration série devra être consignée dans le rapport d'essai.

Les mesures doivent être réalisées pour la longueur maximale du train à caractériser. La garde au sol du matériel doit correspondre à celles des conditions d'exploitation normales.

Les appareils de ventilation avec des écoulements d'air dirigés vers la voie doivent être dans la mesure du possible en condition d'utilisation maximale.

Pour des trains non symétriques ou de véhicules d'extrémités différents, les mesures doivent être réalisées dans les deux sens de circulation.

Vitesse et nombre de passages

Le phénomène d'envois de ballast étant un phénomène aléatoire et l'écoulement sous caisse étant fortement instationnaire et turbulent, il est nécessaire d'avoir un maximum de passages de la rame à caractériser sur le site d'essai pour pouvoir réaliser une analyse correcte.

Les tests doivent comporter au moins 20 échantillons d'essai comparables et indépendants obtenus pour une vitesse de vent ambiant ne dépassant pas 2 m/s.

Pour un échantillon de mesure valable toutes les mesures doivent être prises à $\pm 5\%$ de la vitesse d'intérêt du train.

La vitesse d'intérêt à considérer lors des essais est la vitesse maximale du matériel à caractériser.

Conditions météorologiques

Les essais doivent être effectués dans des conditions atmosphériques n'ayant pas d'incidence sur les résultats des mesures notamment il ne doit pas y avoir de présence de neige sur la voie et les matériels à caractériser ne doivent pas être chargés en neige. Les périodes de fortes précipitations sont également à éviter pour garantir la validité des mesures.

Les mesures météorologiques à effectuer sont décrites dans le paragraphe 3 à l'item Mesures météorologiques..

Les conditions atmosphériques devront être enregistrées pendant toute la durée des essais et indiquées dans le rapport d'essai.

3 DESCRIPTIFS DES MESURES

Les grandeurs à mesurer lors de cet essai sont les suivantes:

- les vitesses d'air au passage du train entre le plan de roulement et le dessus du ballast,
- les conditions atmosphériques,
- la vitesse de passage du train sur le site d'essai ainsi que le passage des essieux.

Les conditions de réalisation de ces différentes mesures sont détaillées dans les paragraphes ci-dessous.

Mesures de la vitesse d'air

Les mesures de vitesses d'air sont prises au passage du train à l'aide de capteurs situés sous le plan de roulement et de part et d'autre du rail. Les mesures sont à réaliser pour les 6 positions indiquées sur la figure 1, c'est-à-dire pour 2 hauteurs (2 et 97 mm au-dessous du plan de roulement) et 3 positions entre les rails (1 position centrale et deux positions latérales).

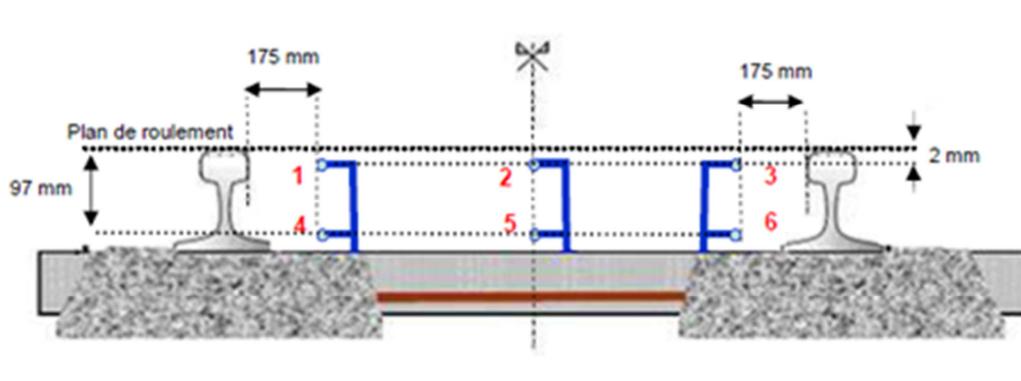


Figure 1 : emplacement des capteurs en voie

L'incertitude concernant la position des capteurs doit être inférieure à 5 mm de manière latérale, et à 2 mm dans la direction verticale.

Il est recommandé pour réaliser ces mesures d'utiliser des tubes de Pitot mais d'autres types de capteurs peuvent être utilisés sous réserve d'approbation par l'organisme demandeur des essais.

Les enregistrements doivent débuter au minimum 1 s avant le passage du nez avant du train au droit du premier capteur et se terminer au minimum 10 s après le passage du nez arrière du train au droit du dernier capteur.

Les capteurs utilisés doivent permettre une plage de fonctionnement d'au moins 70 m/s et doivent être échantillonnés à un minimum de 200 Hz.

Mesures météorologiques

Les paramètres ambiants (pression de l'air, température de l'air, humidité de l'air, vitesse et direction du vent,...) doivent être enregistrés pendant toute la durée de l'essai. L'acquisition des données de température, de pression ou d'humidité doit être conforme à l'ISO 8756.

La vitesse et la direction du vent doivent être mesurées à 2 m au-dessus du plan de roulement et à une distance de 4 m du bord latéral de la voie.

La vitesse du vent à considérer est équivalente à la vitesse moyenne du vent dans l'intervalle de 3 s mesuré de 4 s à 1 s avant le passage du 1er essieu dans le capteur de vent.

Mesures de la vitesse du train

La mesure de vitesse de passage du train sur le site d'essai doit être réalisée avec un dispositif validé et d'une précision suffisante (respectant les exigences du paragraphe « Incertitudes de mesures »).

Le passage des essieux sur la zone de mesure doit également être enregistré (pédales ou barrière).

Incertitudes de mesures

Les incertitudes de mesure de la vitesse d'air et de la vitesse du train doivent être déterminées et indiquées dans le rapport d'essai. Elles ne doivent pas dépasser :

- $\pm 1.5 \%$ pour la vitesse d'air.
- $\pm 1 \%$ pour la vitesse du train.

La précision sur les mesures des conditions météorologiques devra également être indiquée dans le rapport d'essai.

La densité de l'air ambiant local doit être déterminée avec une précision d'au moins $\pm 1,5\%$

4 TRAITEMENT DES SIGNAUX

Un filtrage passe-bas 75 Hz de type Butterworth ordre 2 est à appliquer sur les signaux bruts de vitesse d'air.

Pour l'ensemble des enregistrements réalisés, la puissance de chaque signal de vitesse d'air est dans un premier temps calculée. Pour cela, la vitesse d'air au carré est intégrée sur l'intervalle de temps défini par t_1 et t_2 avec t_1 correspondant au passage du premier essieu du train et t_2 correspondant au passage du dernier essieu du train (cf. figure 2).

La puissance du signal enregistré par le capteur j lors du passage i du train est noté $P_{Cj,i}$ et est défini par::

$$P_{Cj,i}(t_1, t_2) = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} |v(t)|^2 dt$$

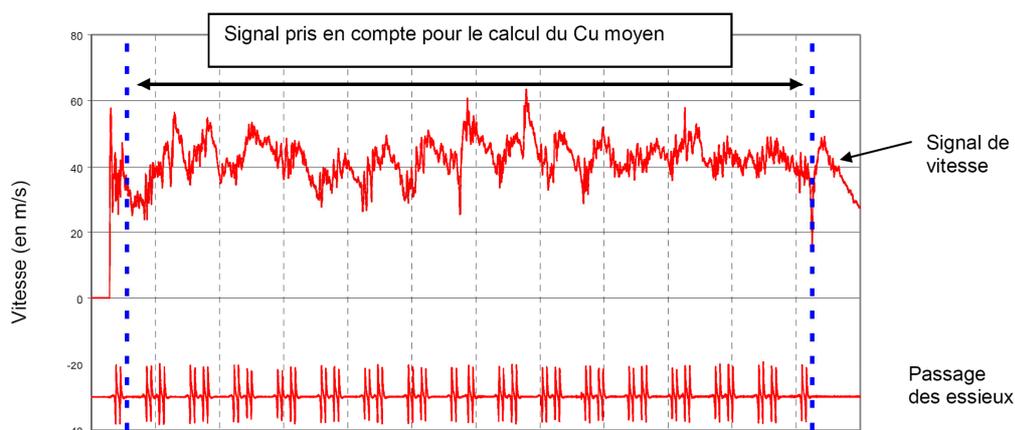


Figure 2 : Partie du signal de vitesse d'air pris en compte pour le calcul de la puissance du signal.

Chaque puissance est ensuite extrapolée à la vitesse de référence à laquelle le matériel doit être évalué selon la formule suivante :

$$P_{Cj,i}(V_{ref}) = \frac{P_{Cj,i}(V_{train})}{V_{train}^2} V_{ref}^2$$

A l'issue de cette étape, un ensemble de puissance $P_{Cj,i}(V_{ref})$ est disponible (puissance correspondant aux différents passages i du train étudié et à chaque position j de capteur)

Pour chaque passage, la puissance totale P_{Ti} est alors obtenue en faisant la somme des puissances obtenues à chaque capteur :

$$P_{Ti}(t_1, t_2) = \sum_{\text{Capteur } 1}^{\text{Capteur } N} P_{Cj,i} = \sum_{\text{Capteur } 1}^{\text{Capteur } N} \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} |v(t)|^2 dt$$

A partir de l'ensemble des passages, une distribution de puissance totale $P_{Ti}(V_{ref})$ est ainsi obtenue, distribution pour laquelle il est possible de calculer la moyenne (μ_{train}) et l'écart-type (σ_{train}).

Le chargement aérodynamique sur la voie pour un train donné et une vitesse donnée (V_{ref}) est alors caractérisé par cette distribution de puissance totale et est caractérisée par $\mu_{train}(V_{ref})$ et $\sigma_{train}(V_{ref})$

5 DOCUMENTS DE SORTIE

La mise en œuvre et les résultats de la campagne d'essais devront être détaillés dans un rapport d'essais qui comprendra au minimum :

- les caractéristiques de la voie (photo, type de voie, type de traverse, hauteur et type de ballast, environnement,...),
- les caractéristiques du matériel et ses particularités notamment d'un point de vue aérodynamique du dessous de caisse (ex : équipements spécifiques ou volumineux sous caisse, système de ventilation soufflant sur la voie,...),
- un descriptif détaillé des dispositifs de mesures,
- les conditions de réalisation de l'essai (vitesse du train, nombre de passages,...),
- les conditions météorologiques,
- les incertitudes de mesures de chaque type de mesure,
- plusieurs enregistrements caractéristiques des signaux réalisés,
- le descriptif du traitement effectué sur les signaux bruts,
- les résultats après exploitation des signaux bruts (distribution de puissance totale caractérisé $\mu_{train}(V_{ref})$ et $\sigma_{train}(V_{ref})$).

L'ensemble des enregistrements bruts et une version informatique du rapport devront pouvoir être mis à disposition du demandeur des essais.

Annexe 2 - Comparaison SAM/Norme

Tableau comparatif des critères : FprEN 14067-4:2013 Annexe A ↔ spécification d'essai SAM :

FprEN 14067-4:2013	Spécification d'essai SAM	
Caractéristiques de la voie		
Cette procédure d'essai s'applique aux voies en écartement standard (1 435 mm)	La voie doit avoir un écartement standard.	
Des essais doivent être conduits sur une voie en alignement et en palier, à l'air libre.	La voie sur la zone de mesure doit être en alignement et en palier	
Il convient qu'il n'y ait aucun obstacle dans la section de l'essai et 100m en avant et 20m en arrière du site d'essai.	Ceci s'applique à la zone de mesure ainsi que 100 m en amont et 20 m en aval de celle-ci.	
Les composants d'infrastructure, tels que les appareils de voie et l'équipement de signalisation à coté et sur la voie doivent être évités dans les dimensions spécifiées de la section d'essai.	La voie [...] ne doit pas comporter de composants d'infrastructure (appareils de voie, équipements de signalisation) à côté de la voie et sur la voie pouvant perturber l'écoulement sous caisse au passage des trains.	
Les mesures doivent être réalisées sur une configuration de voie comprenant des plaques de tôles avec une surface lisse ayant une rugosité de grain de sable définie;	Les mesures doivent être réalisées sur une voie ballastée caractéristique des voies standards françaises.	
<i>Néant</i>	Les zones de mesures doivent présenter un profil de ballast rasant et être composé de traverse bi bloc B450 caractéristique des voies standards françaises.	
<i>Néant</i>	Des emplacements de mesure atypiques, pouvant perturber l'écoulement d'air induit autour du train (ponts, ouvrages d'art, écran acoustique, etc.), doivent également être exclus.	
<i>Néant</i>	Les travaux de voie ayant eu lieu une semaine avant le déroulement des essais et pouvant modifier les caractéristiques de la voie devront également être signalés dans le rapport d'essai.	
Capteurs de voie		
Les capteurs de voie placés à $z = 25$ mm (sous le plan de roulement) au centre de la voie $y = 0$ m et à $y = \pm 0,2$ m.	Les mesures sont à réaliser pour [...] 2 hauteurs (20 et 170 mm par rapport au-dessus du rail) et 3 positions latérales entre les rails.	
L'incertitude quant au positionnement des capteurs doit être inférieure à 5mm de manière latérale, et à 2mm dans la direction verticale.	L'incertitude concernant la position des capteurs doit être inférieurs à 5 mm de manière latérale, et à 2 mm dans la direction verticale.	
Configuration du véhicule		
Il convient que des essais soient réalisés avec la configuration du train la plus longue possible,	Les mesures doivent être réalisées pour la longueur maximale du train à caractériser.	
La garde au sol doit correspondre à celles des conditions d'exploitation normales.	La garde au sol doit correspondre à celles des conditions d'exploitation normales.	

Il convient que les appareils de ventilation avec écoulements d'air dirigés vers la voie soient dans une condition d'exploitation maximale.	Les appareils de ventilation avec des écoulements d'air dirigés vers la voie doivent être dans la mesure du possible en condition d'utilisation maximale.	
Pour des compositions de trains non symétriques, il convient que les essais soient réalisés dans les deux directions de circulations.	Pour des trains non symétriques ou de véhicules d'extrémités différents, les mesures doivent être réalisées dans les deux sens de circulation.	
Il convient que la vitesse d'essai nominale soit la vitesse maximale du train.	La vitesse d'intérêt à considérer lors des essais est la vitesse maximale du matériel à caractériser.	
Acquisition des données météo		
L'acquisition doit être conforme à l'ISO 8756.	L'acquisition des données de température, de pression ou d'humidité doit être conforme à l'ISO 8756.	
Pour chaque passage de l'essai, il convient que la vitesse du vent ambiant ne dépasse pas 3m/s	la vitesse de vent ambiant ne doit pas dépasser 2 m/s.	
La composante de vitesse du vent parallèle à la voie ne doit pas dépasser 2m/s	<i>Néant</i>	
La vitesse et direction du vent sont déterminées par station météo installée à $y = 4 \text{ m} \pm 0,25 \text{ m}$ et $z = -2 \text{ m} \pm 0,25 \text{ m}$	La vitesse et la direction du vent doivent être mesurées à 2 m au-dessus du plan de roulement et à une distance de 4 m du bord latéral de la voie.	
La vitesse du vent est équivalente à la vitesse du vent moyenne dans l'intervalle de 3 s mesuré de 4 s à 1 s avant le passage du 1er essieu dans le capteur de vent	La vitesse du vent à considérer est équivalente à la vitesse moyenne du vent dans l'intervalle de 3 s mesuré de 4 s à 1 s avant le passage du 1er essieu dans le capteur de vent	
Il convient que les précipitations soient évitées pour obtenir des mesures valables.	Les périodes de fortes précipitations sont également à éviter pour garantir la validité des mesures.	
<i>Néant</i>	[...] il ne doit pas y avoir de présence de neige sur la voie et les matériels à caractériser ne doivent pas être chargés en neige.	
Mesure écoulement d'air		
Les types de capteurs suivants sont recommandés pour réaliser les mesures : - des tubes statiques Pitot - des tubes Pitot avec des ports de pression statique séparée dans les plaques au sol - des anémomètres ultra-soniques de dimension 1, 2 ou 3	Il est recommandé pour réaliser ces mesures d'utiliser des tubes de Pitot mais d'autres types de capteurs peuvent être utilisés sous réserve d'approbation par l'organisme demandeur des essais.	
Les essais doivent consister en au moins 20 échantillons d'essai indépendants et comparables.	Les tests doivent comporter au moins 20 échantillons d'essai comparables et indépendants.	
Toutes les mesures doivent être prises à $\pm 5\%$ de la vitesse d'essai nominale	Pour un échantillon de mesure valable toutes les mesures doivent être prises à $\pm 5\%$ de la vitesse d'intérêt du train.	
L'accélération moyenne mesurée du train doit être inférieure à $\pm 0,15 \text{ m/s}^2$	<i>Néant</i>	

La mesure de l'écoulement d'air doit commencer au moins 1 s avant le passage du 1er essieu devant le 1er capteur et continu au moins jusqu'à 10 s après le passage du dernier essieu devant le dernier capteur.	Les enregistrements doivent débiter au minimum 1 s avant le passage du nez avant du train au droit du premier capteur et se terminer au minimum 10 s après le passage du nez arrière du train au droit du dernier capteur.	
Les capteurs permettent une plage de mesures d'au moins 60m/s et doivent être échantillonnées avec au moins 200Hz	Les capteurs utilisés doivent permettre une plage de fonctionnement d'au moins 70 m/s et doivent être échantillonnés à un minimum de 200 Hz.	
Il convient que le capteur utilisé résolve des fluctuations d'écoulement de 100Hz correctement	<i>Néant</i>	
Le ratio bruit/signal doit être inférieur à 3% sur la base de l'amplitude maximale mesurée du signal, ou il doit être démontré que le bruit a un impact inférieur à 1% sur la quantité d'évaluation	<i>Néant</i>	
Incertitude de mesures		
Pour les mesures d'écoulement d'air, l'incertitude ne doit pas dépasser +- 1,5%	Vair +-1.5%	
L'incertitude de la mesure de vitesse du train ne doit pas dépasser +- 1%	Vtrain +-1%	
La densité de l'air ambiant local doit être déterminée avec une précision d'au moins +- 1,5%	La densité de l'air ambiant local doit être déterminée avec une précision d'au moins +- 1,5%	
L'accélération moyenne doit être déterminée pendant le passage de tous les niveaux du train sur la section d'essai à partir des intervalles des essieux enregistrés avec une précision d'au moins 0,1 m/s ²	<i>Néant</i>	
Traitement des signaux		
<i>Néant</i>	Un filtrage passe-bas 75 Hz de type Butterworth ordre 2 est à appliquer sur les signaux bruts.	

	Légende
	Les critères de la SAM ne sont pas conformes à la norme
	Les critères de la SAM et de la norme sont équivalents
	Le critère de la SAM est moins élevé que celui de la norme
	Ce critère de la SAM n'est pas repris dans la norme

Annexe 3 - Bibliographie

- 1 J.J. Thomas, "Approche fiabiliste du dimensionnement dans l'industrie automobile.", PSA Peugeot Citroën – Direction de la Recherche et de l'Innovation Automobile, Xvème congrès français de mécanique
- 2 H.B. Kwon, C.S.Park : An experimental study on the relationship between ballast-flying phenomenon and strong wind under high-speed train, Korea Railroad Research Institute, 2006,
- 3 Quinn AD, Powrie. W, "A full scale experimental and modeling study of ballast flight under highspeed trains", Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Vol 224, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit
- 4 G. Saussine, E. Masson, JJ Thomas, PE Gautier, N. Paradot, E. Allain, "Railway ballast flying phenomenon: from numerical computations toward risk assessment", EUROMECH COLLOQUIUM 50, Vehicle Aerodynamics, Berlin, Germany, March 24--25, 2009
- 5 Hans-Jakob Kaltenbach, WP 1 Underfloor Aerodynamics Summary Report, DeuFraKo Project, Aerodynamics in Open Air" (AOA), 2009
- 6 G. Saussine, E. Allain, N. Paradot, V. Gaillot, "Ballast Flying Risk assessment Method for high Speed Line", 9ème World Congress Railway Research, Lille, France, 22-26 mai, 2011
- 7 M Weise, M Sima (Bombardier Transportation), « Towards a Standard Test Procedure for Aerodynamic Loads on Railway Tracks", International Workshop on Train Aerodynamics, Birmingham, 8-10 avril, 2013
- 8 B Lazaro, E Gonzále, M Rodriguez-Plaza, A Mascaraque, A Rodriguez (UPM, ADIF, SENER) " Test Procedure for Quantitative Ballast Projection Risk Evaluation", International Workshop on Train Aerodynamics, Birmingham, 8-10 avril, 2013
- 9 G Diana, D Rocchi, G Tomasini, P Schito, A Premoli (Polimi) "Full scale experimental analysis of train induced aerodynamic forces on the ballast of Italian high speed line", International Workshop on Train Aerodynamics, Birmingham, 8-10 avril, 2013
- 10 Aerotrains rapport public WP2 de 2012 AeroTRAIN : Aerodynamics: Total Regulatory Acceptance for the Interoperable Network Output Document – TSI and CEN norm text proposal for evaluation method and limit for aerodynamic loads on track WP2 – Aerodynamic Loads on Tracks.

Fiche d'identification

Référentiel	Matériel
Titre	Envois de ballast
Référence	Recommandation - SAM X 012
Date d'édition	13/02/2015
Ce texte constitue un moyen acceptable de conformité	

Historique des versions			
Numéro de version	Date de version	Date d'application	
1	13/02/2015	13/02/2015	

Ce texte est consultable sur le site Internet de l'EPSF

Résumé
<p>Ce document traite de la vérification de l'acceptabilité des véhicules ferroviaires au regard des envois de ballast. Il expose les essais d'évaluation du chargement aérodynamique d'un matériel sur une voie ballastée, en précise la mise en œuvre et indique les valeurs de référence à utiliser sur le réseau ferré national.</p>

Textes abrogés	Textes interdépendants

Entreprises concernées	Toutes les entreprises ferroviaires
Lignes ou réseaux concernés	R.F.N. et réseaux comparables

Élaboration		Validation		Approbation	
Nom	Date et signature	Nom	Date et signature	Nom	Date et signature
Denis RIPS	23/01/15	Laurent CÉBULSKI	23/01/15	Hubert BLANC	13/02/15

Direction des Référentiels
Établissement Public de Sécurité Ferroviaire
60 rue de la Vallée – 80000 AMIENS