

Bilan des expérimentations relatives à la mise en œuvre de l'arrêté du 29 septembre 2022 « Pics de bruit ferroviaires »

Synthèse d'étape des résultats de la phase 1



Page laissée blanche intentionnellement

Ont participé à l'élaboration du document (par ordre alphabétique) :

Benoit Bierra (SNCF)

Claude Carsac (FNE)

Guillaume Coquel (RATP)

Corinne Fillol (RATP)

Manuel Hellot (Bruitparif)

Valérie Janillon (Acoucity)

Fanny Mietlicki (Bruitparif)

Patricio Munoz (Acoucity)

Xavier Olny (Cerema)

Jean-Philippe Regairaz (SNCF Réseau)

Matthieu Sineau (Bruitparif)

Coordination :

Xavier Olny (Cerema)

Relecture :

Laure-Anne Chamboredon (Cerema)

Table des matières

Table des illustrations	7
Tableaux	10
1. Introduction - Contexte	11
2. Lexique : Notions d'événements sonores et de pics de bruit, issues de l'article 90 de la loi LOM ou Art. L. 571-10-2 du code de l'environnement.....	14
2.1. Définitions issues de la littérature scientifique :.....	14
2.2. Définitions dans la norme NF S31-088 (Acoustique - Caractérisation et mesurage du bruit dû au trafic ferroviaire)	15
2.3. Définitions dans la norme NF S31-190 (Acoustique - Caractérisation des bruits d'aéronefs perçus dans l'environnement)	17
2.4. Définitions dans la norme ISO 20906 (Acoustique – Surveillance automatique du bruit des aéronefs au voisinage des aéroports)	17
2.5. Autres notions d'émergence présentes dans les réglementations acoustiques ne concernant pas les infrastructures de transports	18
2.6. Définition des indicateurs moyens journaliers.....	19
3. Cadrage de l'expérimentation – phase 1	20
3.1. Sites retenus pour la phase 1	20
3.2. Cahier des charges partagé pour les mesures et la détection des trains.....	22
4. Résultats de l'expérimentation –phase 1	23
4.1. Mise en œuvre des mesures	23
4.1.1. Description générale de la mise en œuvre.....	23
4.1.2. Retours d'expérience de chaque partie prenante sur la mise en œuvre des mesures	24
4.2. Codage et identification des événements ferroviaires	26
4.2.1. Description des matériels et méthodes employés.....	26
4.2.1.1. Le codage audio sur seuil :.....	27
4.2.1.2. Le codage des événements sonores par traitement du signal (utilisation de filtres passe-bas Butterworth) :.....	27
4.2.1.3. Identification par mise en correspondance des mesures acoustiques avec le système de comptage des circulations SNCF (ORE)	28
4.2.1.4. Méthodes de détection des circulations (SNCF)	30
4.2.1.5. Méthodes de détection des circulations (RATP)	30
4.2.2. Difficultés rencontrées pour la détection et le codage des événements sonores ferroviaires	31
4.2.3. Synthèse intermédiaire sur la détection et le codage des événements ferroviaires	35

4.3.	Bornage des événements ferroviaires et estimation du Tevt.....	37
4.3.1.	Méthodes mises en œuvre pour estimer le Tevt.....	37
4.3.2.	Discussion sur le choix de la méthode d'estimation du Tevt.....	39
4.3.3.	Représentation du Tevt	40
4.4.	Représentation des indicateurs moyens journaliers (NAX)	41
4.4.1.	Indicateurs évalués en dB(A)	41
4.4.2.	Indicateurs évalués en dB(C), lignes à grande vitesse	45
4.4.3.	Représentations alternatives des indicateurs.....	46
4.4.4.	Discussion sur l'utilisation des dB(A)/dB(C) pour les LGV	48
4.4.5.	Synthèse intermédiaire	49
4.5.	Analyses spécifiques réalisées sur les indicateurs événementiels	50
4.5.1.	Corrélations entre indicateurs.....	50
4.5.1.1.	Sites instrumentés par Bruitparif :	50
4.5.1.2.	Sites instrumentés par Acoucity :	52
4.5.1.3.	Sites instrumentés par la SNCF :	53
4.5.1.4.	Sites instrumentés par la RATP :	55
4.5.1.5.	Conclusion sur les corrélations entre indicateurs	55
4.5.2.	Distributions des événements (dispersion, boîtes à moustache par type de train...)	55
4.6.	Calcul d'indicateurs complémentaires.....	60
4.7.	Caractérisation de l'ambiance sonore « très modérée »	61
4.8.	Coûts économiques spécifiques à l'expérimentation.....	62
5.	Premières conclusions et propositions à l'issue de la phase 1	63
5.1.	Synthèse des enseignements de la phase 1 de l'expérimentation	63
5.1.1.	Faisabilité d'évaluation des indicateurs d'événements et moyens journaliers	63
5.1.2.	Pertinence des indicateurs	65
5.1.3.	Utilisation potentielle des indicateurs	68
5.2.	Propositions d'évolution de l'arrêté du 29 septembre 2022.....	71
6.	Compléments techniques, perspectives	72
6.1.	Dispositifs de détection des passages de trains/rames sur rail	72
6.2.	Capteurs permettant d'identifier les directions principales des sources d'émission	72
6.3.	Reconnaissance des sources par intelligence artificielle	73
6.4.	Complément sur la relation entre LAeq et LpAS.....	73

7. Conclusion et perspectives de la phase 1 de l'arrêté du 29 septembre 2022	75
Annexe 1 : Fiches détaillées des mesures par site	77
Fiches de mesure Bruitparif	78
Fiche de mesure Acouicité	131
Fiches de mesure RATP.....	142
Fiches de mesure SNCF.....	148
Annexe 2 : Notes de positionnement des participants à l'issue de l'expérimentation phase 1	167
Note de positionnement SNCF Réseau	168
Note de positionnement Bruitparif.....	181
Note de positionnement Acouicité.....	190
Note de positionnement FNE.....	191

Table des illustrations

Figure 1: Codage du signal de mesure pour identification d'une circulation ferroviaire (Source : NF S 31-088).....	16
Figure 2: •Sonomètre classe 1 de type RION NL52 muni d'un microphone RION UC-59 et d'une protection anti-intempéries WS-15 et routeur pour l'envoi automatique des données vers le serveur de Bruitparif.....	24
Figure 3: Vu d'une portion de fichier codé. Les événements ferroviaires apparaissent en rouge et orange sur le graphique. (Source : Acoucity).....	27
Figure 4: Illustration du principe de la méthode de détection des événements proposée par Bruitparif et basée sur un double filtrage temporel.....	28
Figure 5: Exemple de mise en correspondance des nombres d'événements ferroviaires et circulations quotidiennes (ORE) (site d'Herblay) – Source : Bruitparif	29
Figure 6: illustration des systèmes de mesures utilisés par la SNCF sur les sites LGV. A gauche, le système à proximité des voies composés de microphones et caméra vidéo (+ jauge de contraintes). A droite le microphone et sa batterie posé chez un riverain. Source : SNCF.....	30
Figure 7: Description schématique des systèmes de mesure utilisés pour les expérimentations – Source RATP	30
Figure 8: Points de mesure en façade des bâtiments (a : Créteil, b : Asnières, c et d sur bâtiment administratif à Sarcelles) – Source RATP	31
Figure 9: Vue du positionnement du capteur permanent Bruitparif sur la rue Coriolis (source: Bruitparif)	32
Figure 10: <i>Evolution temporelle du niveau de bruit – site Paris-Coriolis – Les passages de trains se recouvrent partiellement et la détection de pics de bruit est rendue complexe</i>	32
Figure 11: Vue du positionnement du capteur permanent Bruitparif à proximité du Technicentre de Châtillon (source: Bruitparif).....	33
Figure 12: Exemple d'enregistrement des niveaux de bruit Lp sur les sites de Créteil (source ferroviaire prépondérante) et Asnières (multi-exposition routes/fer) – Source RATP	34
Figure 13: Illustration des indicateurs utilisés pour caractériser un événement. La notion d'émergence événementielle est présentée et discutée au §2.1. Source : Bruitparif.....	37
Figure 14: Exemple d'analyse du passage d'un TER sur le site de Rillieux-La-Pape. Source : Acoucity.....	38
Figure 15: Détermination du temps de passage et du T _{evt} sur la base du (L _{Amax} -10 dB(A)). Par définition, cette méthode n'est applicable qu'aux événements sonores émergents de plus 10 dB(A) du bruit résiduel.	39
Figure 16: Comparaison de l'estimation des indicateurs à partir du T _{evt} évalué sur le bornage complet de l'événement et à partir du (L _{Amax} -10dB). Données issues des mesures Bruitparif sur le site de Villemomble (Fret), ré-exploitation Cerema.....	40
Figure 17: exemple de représentation de l'exploitation des T _{evt} sous forme de « boîte à moustache » – Site de Malay-le-Petit (LGV) – Points en bord de voie et chez un riverain à 90m. Le T _{evt} a été évalué à partir du L _{Amax} -10dB.....	40
Figure 18: exemple de représentation de l'exploitation des T _{evt} sous forme de distribution par classes – Site de Malay-le-Petit (LGV) – Points un riverain à 90m. Le T _{evt} a été évalué à partir du L _{Amax} -10dB.	40
Figure 19: Exemple de représentation des NAX pour les trois indicateurs L _{ASmax} , L _{AeqTevt} et SEL par pas de 2 dB(A). Site de Bois-le-Roi. Source : Bruitparif.	41
Figure 20: Exemple de représentation des NAX pour les trois indicateurs L _{ASmax} , L _{AeqTevt} et SEL par pas de 2 dB(A). Site d'Herblay. Source : Bruitparif.	41
Figure 21: Exemple de représentation des NAX pour les trois indicateurs L _{ASmax} , L _{AeqTevt} et SEL par pas de 2 dB(A). Site de Mitry. Source : Bruitparif.	41
Figure 22: Exemple de représentation des NAX pour les trois indicateurs L _{ASmax} , L _{AeqTevt} et SEL par pas de 2 dB(A). Site de Villemomble. Source : Bruitparif.	41

Figure 23: Exemple de représentation des NAX pour les trois indicateurs LASmax, LAeqTevt et SEL par pas de 2 dB(A). Site de Rillieux-la-Pape (TaGV+TER). Source : Acoucité.....	42
Figure 24: Exemple de représentation des NAX pour l'indicateur LAeqTevt par pas de 2 dB(A). Site Métro Ligne n°8 (fer) à gauche et Ligne n°6 (pneus) à droite. Source : RATP.....	42
Figure 25: Exemple de représentation des NAX pour l'indicateur LAeqTevt par pas de 2 dB(A). Site Tramway T1(fer) à gauche et RER A à droite. Source : RATP.....	42
Figure 26: Exemple de représentation des NAX pour l'indicateur LAeqTevt par pas de 2 dB(A). Site Tramway T5 (Pneus). Source : RATP.....	43
Figure 27: Exemple de représentation des NAX pour les trois indicateurs LASmax, LAeqTevt et SEL par pas de 2 dB(A). Site du Teil (Fret). Source : SNCF.....	43
Figure 28: Exemple de représentation des NAX pour les trois indicateurs LASmax, LAeqTevt et SEL par pas de 2 dB(A). Site de Malay-le-Petit (LGV). Source : SNCF.....	44
Figure 29: Indicateurs NAX évalués sur le site de Malay-le-Petit (LGV) chez un riverain pour les indicateurs LCSmax, LCeq_Tevt et SEL_C. Source : SNCF.....	45
Figure 30: Représentation de la distribution d'un nombre d'événements par plages de 5 dB(A) pour l'indicateur LpAS, 1smax. Sites de Mitry (gauche) et Villemomble (droite). Source : Bruitparif.....	46
Figure 31: Exemples de représentation de la distribution du nombre d'événements par plages de 5 dB(A) selon l'indicateur SEL avec un pas horaire. Source : Bruitparif.....	47
Figure 32: Représentation du nombre d'événements par classe de 0,5 dB(A), avec décomposition jour/soir/nuit. Site: Ligne T1 - Tramway Fer - Source RATP.....	47
Figure 33: Représentation du nombre d'événements par classe de 5 dB(A). Variante avec échelle de couleurs à définir pour le graphique de droite. Site de Rillieux-La-Pape. Source : Acoucité.....	47
Figure 34: Mesures des vitesses sur les voies 1 et 2 sur le site de Malay-le-Petit. Source : SNCF.....	48
Figure 35: Evénements sonores ferroviaires mesurés (a) en bordure de voie et (b) chez un riverain (90m). Comparaison des LpSmax évalués en dB(A) et dB(C). Source SNCF, ré-exploitation : Cerema.....	48
Figure 36: Point en bordure de voie. Comparaison des NAX_LpSmax évalués pour les niveaux en dB(A) à gauche et en dB(C) à droite (Malay-le-Petit). Source SNCF, ré-exploitation : Cerema.....	48
Figure 37: Point riverain. Comparaison des NAX_LpSmax évalués pour les niveaux en dB(A) à gauche et en dB(C) à droite (Malay-le-Petit).....	49
Figure 38: Point en bordure de voie. Comparaison des nombres d'événements par classe de LpSmax évalués pour les niveaux en dB(A) à gauche et en dB(C) à droite. (Malay-le-Petit, bordure de voie).....	49
Figure 39: Point riverain. Comparaison des nombres d'événements par classe de LpSmax évalués pour les niveaux en dB(A) à gauche et en dB(C) à droite. (Malay-le-Petit).....	49
Figure 40 : Relations présentées pour l'ensemble des événements sonores ferroviaires des 6 sites Bruitparif de l'expérimentation Herlay, Bois-le-Roi, Villemomble, Paris-Coriolis, Malakoff et Mitry-Mory (environ 218 000 événements) – Source : Bruitparif.....	52
Figure 41: Corrélation LAeq,1s max et SEL pour le site de Villemomble (environ 5400 événements Fret). Source : Bruitparif.....	52
Figure 42: Exemples de corrélations LpASmax et SEL_A pour le site du Teil, en bord de voie et au niveau du riverain. Source : SNCF.....	53
Figure 43: Exemples de corrélations LpASmax, LAeqTevt et SEL_A pour le site de Malay-le-Petit (trafic TaGV) – Point « riverain » Source : SNCF.....	54
Figure 44: Exemples de corrélations LpCSmax, LCeqTevt et SEL_C pour le site de Malay-le-Petit – Point « riverain » (trafic TaGV). Source: SNCF.....	54

Figure 45: Boxplot pour l'indicateur SEL par familles de trains pour trois sites de mesure : Bois-Le-Roi, Herblay et Villemomble. Source : Bruitparif.....	56
Figure 46: LpASmax par type de train et par période mesurés sur le site de Rillieux-La-Pape - Tous jours confondus. Source : Acoucity	57
Figure 47: Boxplot des vitesses de circulations mesurées sur les deux voies (V1 et V2) du site de Malay-le-Petit. Source : SNCF.....	57
Figure 48: Boxplot des indicateurs acoustiques événementiels mesurés en bordure, avec le dispositif "Boite Noire" de la voie 1 sur le site de Malay-le-Petit. Distinction des Unités Simples (259 trains) et des Unités Multiples (doubles).....	58
Figure 49: Boxplot des mesures réalisées à l'aide des deux dispositifs acoustiques (sonomètre et Boite Noire) en bord de voies et chez le riverain.....	58
Figure 50: Boxplot des indicateurs acoustiques événementiels mesurés sur les sites RATP. (a) Ligne n°6 - Métro Pneus, (b) Ligne T1 - Tramway Fer, (c) RER A - Contact Fer, (d) T5 - Tramway pneumatique manquant, (e) Ligne n°8 – Métro Fer.....	59
Figure 51: Exemple de pédale de voie électronique permettant la détection du passage d'essieux. Ce type de dispositif pourrait s'avérer plus efficace que les jauges de contraintes susceptibles de fournir des signaux bruités difficilement exploitables.	72
Figure 52 : Vues du capteur méduse (à gauche) et en situation sur le site de Savigny-sur-Orge dans le cadre de l'étude GENIFER (au centre) et à proximité du technicentre de Charenton (à droite).....	73
Figure 53: Test comparatif entre l'évaluation du LpAS (LAS_calc) à partir des LAeq,100ms et du LpAS mesuré (LAS) – les deux courbes sont confondues. Source : Bruitparif	74

Tableaux

Tableau 1: Divers algorithmes de détection d'événements sonores pour le bruit des transports trouvés dans la littérature ($L\beta$ = niveau seuil ; E = émergence ; t_e = durée de l'événement ; t_g = temps entre les événements – Source : Brown et De Coensel, 2018.	15
Tableau 2: Seuils fixés pour les tonalités marquées par l'arrêté du 23 janvier 1997 relatif à la limitation des bruits émis dans l'environnement par les ICPE	19
Tableau 3: Répartition des organismes en charge des mesures et nombre d'événements ferroviaires analysés.	23
Tableau 4: Matériels et méthodes de détection et codage des événements ferroviaires utilisés pendant la phase 1 de l'expérimentation	26
Tableau 5 : Nombre d'événements sonores ferroviaires détectés et nombre de circulations ferroviaires relevées via le système ORE de SNCF-Réseau – moyenne par périodes sur les 6 mois d'expérimentation. Source : Bruitparif	29
Tableau 6: Exemple de contenu fourni par le système ORE - site d'Herblay - Source: SNCF/Bruitparif.....	29
Tableau 7: Nombre d'événements par types de trains. Source : Bruitparif	50
Tableau 8: Matrices de corrélation (R). Source : Bruitparif.....	51
Tableau 9: Exemple de matrices de corrélation (R) pour la période de mars 2023 – Source : Acoucity.....	52
Tableau 10: Matrices de corrélation (R) pour le site du Teil (trafic Fret) pour les points situés en bordure de voie et chez un riverain – Source : SNCF	53
Tableau 11: Matrices de corrélation (R) des indicateurs mesurés en dB(A) pour le site de Malay-le-Petit (trafic TaGV) pour les points situés en bordure de voie et chez un riverain – Source : SNCF	54
Tableau 12: Matrices de corrélation (R) des indicateurs mesurés en dB(C) pour le site de Malay le Petit (trafic TaGV) pour les points situés en bordure de voie et chez un riverain – Source : SNCF	54
Tableau 13: Matrices de corrélation (R) entre indicateurs pour les 5 sites de la RATP (ND : Non Déterminé).....	55
Tableau 14: Détermination des zones d'ambiance sonore préexistante: TM très modérée, M: modéré, NM: non-modérée	61
Tableau 15: Zones d'ambiance sonore préexistante pour les 15 sites de l'expérimentation. *Important : l'ambiance sonore préexistante a été estimée à partir du bruit résiduel (i.e. hors trafic ferroviaire existant)	62
Tableau 16: Synthèse de l'analyse des indicateurs de l'arrêté du 29 septembre 2022 à l'issue de la première phase d'expérimentation.	70
Tableau 17: Proposition de liste réduite d'indicateurs événementiels à retenir pour l'évaluation du bruit ferroviaire, en plus des indicateurs réglementaires actuels. *On rappelle que la norme de mesurage du bruit ferroviaire NFS 31-088 prévoit de conserver l'ensemble des données brutes nécessaires pour évaluer ces indicateurs.	76

1. INTRODUCTION - CONTEXTE

La mise en service, en juillet 2017, de deux lignes à grande vitesse Bretagne Pays de Loire (BPL) et Sud Europe Atlantique (SEA), bien que respectant la réglementation en vigueur, a suscité de nombreuses plaintes en lien avec les nuisances acoustiques et vibratoires, qui ont conduit à la mobilisation des élus locaux et parlementaires. En 2019, le rapport de la médiation relative aux nuisances générées par les TaGV (Trains à Grande Vitesse) des lignes BPL et SEA, publié par le CGEDD¹, a soulevé la nécessité d'approfondir les études, pour mieux prendre en compte notamment le caractère événementiel des circulations ferroviaires ou « pics de bruit » et leurs impacts sur la santé.

Le 24 décembre 2019, la Loi d'Orientation des Mobilités (dite LOM) intègre l'article 90, versé depuis dans le code de l'environnement ([Article L571-10-2](#)) rédigé comme suit :

« Les indicateurs de gêne due au bruit des infrastructures de transport ferroviaire prennent en compte des critères d'intensité des nuisances ainsi que des critères de répétitivité, en particulier à travers la définition d'indicateurs de bruit événementiel tenant compte notamment des pics de bruit.

Un arrêté conjoint des ministres chargés des transports, de l'environnement et du logement précise les modalités d'évaluation des nuisances sonores des transports ferroviaires en fonction des critères mentionnés au même premier alinéa. »

À la suite de la saisine du Conseil National du Bruit et du Cerema par le ministère en charge de l'écologie, des travaux ont été menés entre 2019 et 2022, pour aboutir à la publication de l'arrêté du 29 septembre 2022 fixant « à titre expérimental les modalités de détermination et d'évaluation applicables à l'établissement d'indicateurs de gêne due au bruit événementiel des infrastructures de transport ferroviaire ».

Pour rappel (extrait de l'arrêté du 29/09/2022) :

« Le présent arrêté précise les modalités applicables, durant une période d'observation de trois années, d'évaluation des nuisances sonores des infrastructures de transports ferroviaires, visant à quantifier la pertinence technique et fonctionnelle de différents indicateurs de bruit événementiel pour ces infrastructures. Il complète par ailleurs sur la même période d'observation de 3 années, des dispositions en faveur de la prise en compte d'une ambiance sonore dite « très modérée », ainsi qu'une évaluation des niveaux de pression acoustique en soirée. »

Il prévoit que les expérimentations se déroulent selon deux phases successives à partir de novembre 2022, pour s'achever 3 ans après :

- **Phase 1** : du 1er novembre 2022 au 30 avril 2023 application aux sections de ligne et aux gestionnaires de réseau définis en annexe I, et pour toute autre section par toute partie-prenante souhaitant participer à l'amélioration des connaissances des ambiances sonores au droit de ses infrastructures ou de son matériel roulant ;
- **Phase 2** : du 1er mai 2023 au 31 octobre 2025 application à l'évaluation, réalisée en application de l'arrêté du 8 novembre 1999 susvisé, des projets de construction, de modification ou de transformation significative d'infrastructure ferroviaire soumis à la sous-section 2 « Limitation du bruit des aménagements, infrastructures et matériels de transports terrestres » de la section 3, du chapitre 1er du titre VII du livre V du code de l'environnement.

¹ Médiation relative aux nuisances générées par les TaGV auprès des riverains des lignes Bretagne-Pays-de-la-Loire et Sud-Europe-Atlantique – [Rapport n°012345-01](#), CGEDD – 2019

Le présent rapport d'étape porte sur la première phase uniquement.

Il a été établi par le Cerema, dans son rôle d'accompagnement du ministère en charge de l'écologie et grâce aux contributions de différentes parties prenantes impliquées dans l'expérimentation :

- **Les deux gestionnaires d'infrastructures ferroviaires impliqués :**
 - SNCF
 - RATP
- **Les observatoires de l'environnement sonore**, membres du Conseil National du Bruit (CNB) et qui ont mis leurs expertises et moyens de mesures et d'analyse au service de l'expérimentation
 - Acoucité
 - Bruitparif
- **Les associations de défense de l'environnement :**
 - France Nature Environnement

Les éléments de synthèse et les fiches de mesure produits par chacun des organismes impliqués dans la réalisation de mesures dans le cadre de la phase 1 de l'expérimentation et ayant servi à l'établissement de ce rapport sont reportés *in extenso* en annexe de ce document.

Pour rappel, les informations et indicateurs introduits par l'arrêté du 29 septembre 2022, à évaluer au cours des deux phases de l'expérimentation sont les suivants :

1. Zone d'ambiance sonore très modérée (phase 2) :

Une zone est dite d'ambiance sonore très modérée si le niveau de bruit ambiant existant avant la construction de la voie nouvelle, à deux mètres en avant des façades des bâtiments, fenêtres fermées, est tel que :

- LAeq (6 h-18 h) est inférieur à 55 dB(A) ;
- LAeq (18h-22 h) est inférieur à 50 dB(A) ;
- et LAeq (22h-6h) est inférieur à 45 dB(A).

2. Indicateurs pour chaque événement (phases 1 et 2) :

Pour chaque circulation ferroviaire, les indicateurs suivants sont évalués avec la pondération fréquentielle A, à 2 mètres en façade de chaque bâtiment ou logement, fenêtres fermées, pouvant être soumis au bruit de l'infrastructure ferroviaire :

- **LpASmax** : niveau de pression acoustique maximum, utilisant la pondération temporelle « S » slow (=lente) avec une constante de temps de 1 seconde lorsque l'indicateur est mesuré ;
- **LAeq,1s,max** : niveau de pression acoustique équivalent continu maximum, évalué sur 1 seconde lorsque l'indicateur est modélisé (concerne essentiellement la phase 2) ;
- **Tevt** : la durée de détection de l'événement sonore lié à la circulation ferroviaire ;
- **LAeq,Tevt** : niveau de pression acoustique continu équivalent évalué sur la durée Tevt ;
- **LAE** (également parfois noté SEL_A) : niveau acoustique d'exposition. L'indicateur est calculé de la façon suivante : $LAE = LAeq, Tevt + 10\log_{10}(Tevt/T0)$, où $T0=1s$;

3. Indicateurs moyens journaliers (phases 1 et 2) :

Pour chacune des trois périodes d'une journée moyenne : Jour (6h-18h), Soirée (18h-22h), et Nuit (22h-6h), les nombres NAX de circulations ferroviaires, conduisant à un dépassement strict de la valeur X du niveau des indicateurs LpASmax ou LAeq,1s,max, LAeq,Tevt, et LAE (ou SEL_A), seront évalués.

On les notera respectivement :

- **NAX_ LpASmax** ou **NAX_ LAeq,1s,max** ;
- **NAX_ LAeq,Tevt** ;
- **NAX_ LAE (ou NAX_ SEL_A)**.

Les NAX_ sont évalués à partir de X=50 dB(A), par pas de 2 dB(A).

Les gestionnaires de réseau peuvent également fournir en complément des indicateurs mentionnés au 1° et 2°, tout autre indicateur, notamment à points, permettant de mieux caractériser le phénomène de soudaineté et de répétitivité du bruit généré par les infrastructures de transport ferroviaire, et permettant d'en faciliter la lecture pour le grand public.

4. Cas des LGV (vitesse>250 km/h) (phases 1 et 2) :

Pour les lignes ferroviaires exclusivement parcourues par des TaGV à des vitesses de circulation supérieures à 250 km/h, sont également évalués les indicateurs suivants, sur la base de niveaux sonores avec la pondération fréquentielle C :

- **LCeq (6h-18h), LCeq (18h-22h), LCeq (22h-6h)** pour les niveaux de pression acoustique continus équivalents par périodes ;
- **LpCSmax**, ou **LCeq,1s,max** pour les niveaux sonores maxima ;
- **LCeq,Tevt** pour les niveaux de pression acoustique continus équivalents évalués sur la durée Tevt ;
- **LCE (ou SEL_C)** pour les niveaux acoustiques d'exposition évalués sur la durée Tevt ;
- **NAX_ LpCSmax** ou **NAX_ LCeq,1s,max** ;
- **NAX_ LCeq,Tevt** ;
- **NAX_ LCE (ou NAX_ SEL_C)** ;
- Les **NAX_** sont évalués à partir de X=50 dB(C), par pas de 2 dB(C).

2. LEXIQUE : Notions d'événements sonores et de pics de bruit, issues de l'article 90 de la loi LOM ou Art. L. 571-10-2 du code de l'environnement

L'article de la loi LOM introduit les notions de bruit événementiel et pics de bruit selon la formulation suivante :

« Les indicateurs de gêne due au bruit des infrastructures de transport ferroviaire prennent en compte des critères **d'intensité** des nuisances ainsi que des critères de **répétitivité**, en particulier à travers la définition d'indicateurs de **bruit événementiel** tenant compte notamment des **pics de bruit**. »

De cette formulation, l'arrêté du 29 septembre 2022 fixant « à titre expérimental les modalités de détermination et d'évaluation applicables à l'établissement d'indicateurs de gêne due au bruit événementiel des infrastructures de transport ferroviaire » a défini de façon consensuelle quatre indicateurs événementiels hors ceux appliqués aux trains à grande vitesse (§1).

La réglementation acoustique, les normes et la littérature scientifique introduisent, quant à elles, des notions « d'événement, événementiel, pic, ... », mais aussi « d'émergence » qui diffèrent suivants les auteurs, les pratiques ou les pays. Les valeurs limites admissibles retenues diffèrent également selon les centres d'intérêts des auteurs (psychoacoustique, acoustique environnementale, bruit des transports, code du travail, etc.).

Dans ce bilan, sera utilisé un lexique que nous souhaitons commun pour l'interprétation des résultats des campagnes de mesure effectués durant la phase 1.

2.1. Définitions issues de la littérature scientifique :

Une définition de l'événement sonore a été proposée par (Brown et De Coensel, 2018²) pour le bruit des infrastructures de transports routiers :

« **Un événement sonore** dans le son provenant d'un flux de circulation routière est une composante discrète du signal sonore qui se démarque ou émerge du reste du signal généré par le flux de circulation. »

Les auteurs précisent aussi la notion de « **bruit événementiel** » se caractérisant par la superposition/succession d'événements sonores dans un bruit résiduel.

Les descripteurs principaux relatifs d'un bruit événementiel sont :

- L'intensité (et le spectre) des événements sonores,
- Leur nombre,
- Leur durée,
- La durée entre les événements sonores,

Par abus de langage, des synonymes d'événements sonores sont utilisés : niveau de bruit maximum, bruit au passage, pics de bruit, émergence, émergence brute ..., qui sont autant d'indicateurs distincts ne portant pas la même information ou la même définition réglementaire ou métier (traitement du signal, acoustique environnementale, psychoacoustique, etc.).

D'un point de vue métrologique, la notion de « pic » fait référence au niveau (L_{peak}), à l'amplitude, la valeur maximale pouvant être atteinte par un son/bruit, sans application de filtre temporel. A noter qu'elle diffère des valeurs maximales (LF_{max} , LS_{max} , LAF_{max} , LC_{max} , ...) évaluées en appliquant une pondération temporelle (F pour Fast, S pour slow). Par construction, ces niveaux sont inférieurs au L_{peak} et les écarts peuvent atteindre plusieurs décibels en fonction de la nature du bruit.

² A.L. Brown, Bert De Coensel. "A study of the performance of a generalized exceedance algorithm for detecting noise events caused by road traffic". In: *Applied Acoustics* 138 (2018), pp. 101–114. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2018.03.031>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003682X17307533>

L'analyse de la littérature scientifique réalisée par Brown et De Coensel³ synthétise de manière non-exhaustive les méthodes pour caractériser/détecter les événements sonores pour des sources de bruit issues des transports (voir Tableau 1).

Reference	Source type	Application	Envelope	L_{β}	E	τ_e	τ_g
Ribeiro et al. [41]	road/rail/air	outdoor	$L_{Aeq,1s}$	55 dB(A)	0 dB(A)	–	–
Murray [29]	road	outdoor	L_{AF} @ 250 ms	65 dB(A)	0 dB(A)	≤ 25 s	≥ 3 s
Fidell et al. [33]	air	indoor	L_{AF} @ 500 ms	site-specific	0 dB(A)	≥ 2 s	–
Sato et al. [42]	road	outdoor	not specified	75 dB(A)	0 dB(A)	–	–
Lambert et al. [32]	rail	outdoor	not specified	70/80 dB(A)	0 dB(A)	–	–
Hall et al. [31]	road/rail/air	indoor	L_{AS} @ 1 s	45/50/55/60/65 dB(A)	0 dB(A)	≥ 30 s	–
Taylor et al. [30]	road/air	outdoor	not specified	55/60/65/70/75 dB(A)	0 dB(A)	–	–
Can et al. [8]	road	outdoor	$L_{Aeq,1s}$	75/80 dB(A)	0 dB(A)	–	–
Fidell et al. [1]	air	indoor/outdoor	L_{AF} @ 1 s	50/60/70 dB(A)	0 dB(A)	≥ 2 s	–
Müller et al. [34]	air	indoor/outdoor	L_{AS} @ 125 ms	not specified	4 dB(A)	–	–
Mietlicki et al. [35]	road	outdoor	not specified	not specified	10 dB(A)	–	–
Griefahn et al. [26]	road/rail	indoor	not specified	not specified	10 dB(A)	–	–
Wunderli et al. [36]	road/rail/air	outdoor	$L_{Aeq,1s}$	$L_{Aeq,T}$	3 dB(A)	–	–
Campbell and Isles [37]	road	outdoor	$L_{Aeq,250ms}$	L_{Aeq}	15 dB(A)	–	–
De Coensel and Botteldooren [38]	road/rail/air	outdoor	L_{AS} @ 1 s	$L_{A50,30s}$	3 dB(A)	≥ 3 s	–
Beaumont and Semidor [7]	road/rail	outdoor	$L_{Aeq,30s}$	$L_{A50,10min}$	5/10/15 dB(A)	–	–
Aasvang et al. [25]	road/rail	indoor/outdoor	L_{AF} @ 1 s	$L_{A90,5min}$	10 dB(A)	≥ 2 s, ≤ 40 s	≥ 5 s
Tulen et al. [39]	road	indoor	$L_{Aeq,1s}$	$L_{A90,10min}$	10 dB(A)	–	≥ 15 s

Tableau 1: Divers algorithmes de détection d'événements sonores pour le bruit des transports trouvés dans la littérature (L_{β} = niveau seuil ; E = émergence ; τ_e = durée de l'événement ; τ_g = temps entre les événements – Source : Brown et De Coensel, 2018.

Dans cette revue, les auteurs constatent que les valeurs fixées pour quantifier l'émergence, varient de 0 à 15 dB(A) en fonction des indicateurs et des méthodes d'analyse retenus. Certaines de ces méthodes utilisent des seuils relatifs à la **durée de l'événement** ou au **temps entre les événements** pour caractériser un événement sonore.

La multiplicité des méthodes existantes et des métriques utilisées témoigne de la difficulté de considérer une méthode « universelle » applicable de façon systématique à tous les bruits événementiels et à toute nature de source.

Le choix d'un seuil pour un indicateur événementiel, devrait en particulier être fait en tenant compte de la réponse humaine (gêne, perturbation du sommeil, effets cognitifs, ...) et en lien avec la nature des sources de bruit spécifiques considérées. Concernant le bruit ferroviaire, les connaissances scientifiques restent à ce jour encore lacunaires et n'ont pas permis de dégager un consensus sur les indicateurs à considérer et les éventuelles valeurs seuils à considérer, d'où la phase d'expérimentation prévue par l'arrêté du 29 septembre 2022.

2.2. Définitions dans la norme NF S31-088 (Acoustique - Caractérisation et mesurage du bruit dû au trafic ferroviaire)

Cette norme s'applique à la caractérisation et au mesurage du bruit de trafic ferroviaire et a pour but de préciser une méthode pour la détermination de la contribution sonore d'origine ferroviaire. Les méthodes décrites contribuent : - à la réalisation d'une étude d'impact acoustique dans le cas de modifications d'une infrastructure ferroviaire ; - à la vérification du respect d'un objectif quantifié, notamment celui imposé par la réglementation. Elles peuvent également être utilisées pour le suivi acoustique en continu d'un site par un système d'observation.

► Validations des mesures

La première condition de validation de la mesure impose que « l'écart, en termes de LAeq, entre le bruit ambiant au passage de circulations ferroviaires et le bruit résiduel soit supérieur ou égal à **10 dB(A)** » ;

Cette norme fixe également les critères de rejet de certains événements dans le cas de bruits masquants :

« Si le bruit résiduel perturbe, de façon continue ou intermittente le bruit ferroviaire par des événements sonores de niveaux comparables ou supérieurs (à **partir de -3 dB**) aux niveaux élémentaires obtenus pendant le passage de certaines circulations, **les mesurages des circulations correspondantes doivent être rejetés.**

³ Brown, A.L.; De Coensel, B. A study of the performance of a generalized exceedance algorithm for detecting noise events caused by road traffic. Appl. Acoust. **2018**, 138, 101–114.

L'identification des événements masquants (par exemple : circulation routière) doit être effectuée au point de réception (point principal ou satellite). »

On entend par :

- Bruit résiduel : le bruit mesuré hors émission de la (des) source(s) de bruit objet(s) de l'étude ;
- Point principal : le point de mesure pour lequel la contribution sonore ferroviaire est calculée uniquement à partir de données acquises en ce point.

Par ailleurs, la norme permet de valider ou d'invalider des mesures en tenant compte de ce critère :

« Si le nombre de circulations rejetées, constaté sur l'intervalle de mesure, est inférieur à 10 % pour un type donné de circulations ferroviaires, la mesure de ce type de circulation est considérée valide.

Au-delà de 10 % de circulations rejetées pour un type donné, la mesure de ce type de circulation est invalidée.

► Codage des événements ferroviaires et durée de passage d'une circulation ferroviaire

La norme apporte des précisions sur les modalités de codage des événements.

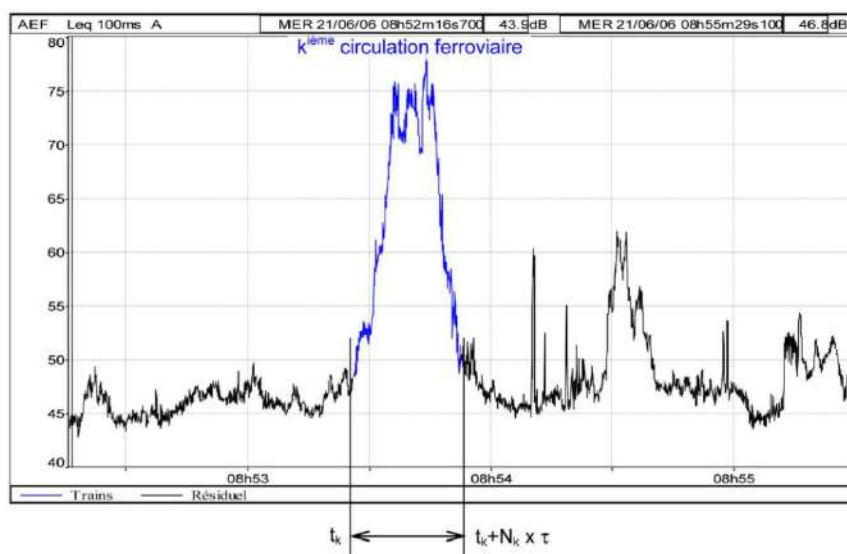


Figure 1: Codage du signal de mesure pour identification d'une circulation ferroviaire (Source : NF S 31-088)

Avec pour un passage k :

- instant de début : t_k ;
- nombre de Leq courts élémentaires : N_k ;
- instant de fin : $t_k + N_k \times \tau$ où τ est la durée du Leq court ;
- durée du passage : $N_k \times \tau$;

Concernant le bornage et la détermination de la durée de passage, la norme précise que :

« t_k et $N_k \times \tau$ n'ont pas donné lieu à des définitions précises car une erreur sur leur détermination n'entraîne pas une incertitude élevée sur le résultat, si l'on s'est assuré de prendre en compte la totalité de l'énergie sonore du passage. Par contre, ils peuvent avoir une influence notable sur la durée cumulée de passage des circulations.

En conséquence, une **vérification de la cohérence de la durée des passages de chaque circulation** doit être réalisée et une liste des circulations avec un horodatage et les durées de passage associées doit être fournie dans le procès-verbal d'essai.

NOTE : Dans le cas d'un codage automatique, il convient de réaliser une vérification systématique de chaque événement codé. »

La norme NF S 31-088 donne ainsi un cadre précis pour évaluer la contribution des passages ferroviaires dans le bruit ambiant. Elle est utilisée notamment pour les mesures de constat et est largement pratiquée par les professionnels de l'acoustique.

2.3. Définitions dans la norme NF S31-190 (Acoustique - Caractérisation des bruits d'aéronefs perçus dans l'environnement)

Cette norme, dédiée au bruit d'origine **aéronautique**, définit les notions **d'événement** et **d'émergence événementielle** :

Un événement acoustique est la (extrait de la norme NF S31-190) « *modification du **niveau** ou de la **tonalité** d'un son ou d'un bruit, **dans les limites de la détection**. La succession d'une telle modification, puis de la modification inverse (retour à l'état antérieur) est également appelée événement acoustique. Un événement acoustique peut être de **durée indéterminée** à l'échelle de l'observation (relèvement d'un niveau, apparition d'un sifflement) **ou finie** (bruit de passage d'un véhicule). »*

La norme précise également la notion **d'événement acoustique discret** comme un « *phénomène acoustique identifiable de **durée courte et limitée** (en général moins de quelques minutes), et pouvant se répéter plusieurs fois au cours de l'intervalle événement aéronautique événement acoustique discret provoqué par le survol d'un aéronef* »

Emergence événementielle (extrait de la norme NF S31-190 en cours de révision)

« *Différence entre le niveau sonore maximal mesuré pendant un événement aéronautique, et le niveau acoustique fractile LA50 mesuré sur une fenêtre de 5 mn incluant l'instant du niveau maximal de cet événement aéronautique et si possible centrée sur celui-ci, conformément à la formule suivante :*

$$Evt = LA_{eq,1s,max} - LA_{50}$$

où :

LA_{eq,1s,max} est le LA_{eq} élémentaire (1s) maximum de l'événement aéronautique ;

LA₅₀ est le niveau fractile d'indice 50, calculé en prenant en compte le bruit observé avant, pendant et après l'apparition du maximum de l'événement aéronautique concerné. La fenêtre temporelle prise en compte dans le calcul du niveau fractile est égale à 5 min.

NOTE 1 : L'émergence événementielle ne doit pas être confondue avec l'émergence définie par la NFS 31-010.

NOTE 2 : Si l'analyse de l'évolution temporelle met en évidence une perturbation importante due au bruit résiduel, ladite perturbation doit être exclue de tout calcul. »

2.4. Définitions dans la norme ISO 20906 (Acoustique – Surveillance automatique du bruit des aéronefs au voisinage des aéroports)

Cette norme internationale définit les modalités et exigences relatives aux dispositifs de surveillance du bruit des aéronefs au voisinage des aéroports et fournit des définitions relatives à la notion d'événement dans ses chapitres 3 et 5.

Événement de bruit d'aéronef

Ensemble de descripteurs acoustiques décrivant de manière adéquate un événement acoustique produit par un seul mouvement d'aéronef.

Détection d'événement

Extraction d'événements acoustiques distincts, basée sur des critères acoustiques.

Événement acoustique

Jeu de données contenant au moins le niveau d'exposition au bruit, le niveau maximal de pression acoustique, la durée de l'événement et une indication horaire.

Classification d'événements

Classification des événements acoustiques principalement basée sur une connaissance acoustique.

Identification d'événements

Procédure d'utilisation de données non acoustiques pour confirmer la relation probable d'un événement acoustique avec un mouvement d'aéronef spécifique.

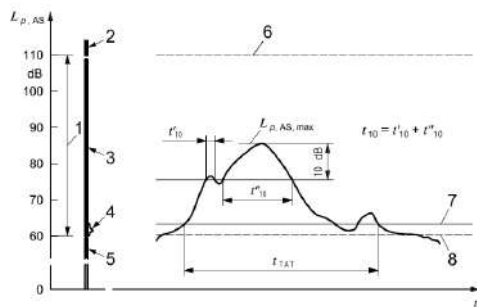
Événement de bruit d'aéronef identifié

Événement de bruit d'aéronef qui est assurément relié à un mouvement d'aéronef spécifique.

Détection d'un événement acoustique

Un événement acoustique est détecté lorsque, par exemple, tous les critères acoustiques suivants sont remplis :

- le bruit n'est ni permanent ni impulsionnel, c'est-à-dire que sa durée se situe dans des limites spécifiées ;
- le niveau acoustique dépasse d'au moins une quantité spécifiée un niveau de seuil ;
- lorsqu'un événement se termine, le niveau acoustique ne remonte pas au-dessus d'un niveau spécifié en un intervalle de temps spécifié.



Légende

$L_{p,AS}$	niveau de pression acoustique pondéré AS	1	plage d'indicateur primaire/plage dynamique
$L_{p,AS,max}$	niveau maximal de pression acoustique pondéré AS	2	plage de surcharge
t	temps	3	plage considérée
t_{10}	temps à moins de 10 dB	4	plage ignorée
t_{TAT}	temps au-dessus du seuil	5	plage non transmise
		6	limite supérieure de plage d'indicateur primaire/plage dynamique
		7	niveau de seuil
		8	limite inférieure du domaine de fonctionnement linéaire

Figure 5 — Exemple de critères de détection d'un événement

Au minimum, le jeu de données nécessaire à la classification d'un événement acoustique numéro i se compose du niveau maximal de pression acoustique pondéré ($L_{p,AS,max,i}$ et/ou $L_{p,A,eq,1 s,max,i}$), du niveau d'exposition au bruit, $LE_{A,i}$, de la durée, T_i , et d'une indication horaire, qui est l'heure locale soit au moment de l'occurrence du niveau maximal de pression acoustique, soit au début de l'événement de bruit.

En outre, la station de surveillance de bruit peut déterminer l'intervalle de temps entre les moments du dépassement du seuil initial et de l'atteinte du niveau maximal de pression acoustique, du dépassement du seuil final, ainsi que d'autres données très utiles.

2.5. Autres notions d'émergence présentes dans les réglementations acoustiques ne concernant pas les infrastructures de transports

La caractérisation des émergences fait partie intégrante des réglementations françaises concernant le bruit de voisinage et des ICPE.

Les notions d'émergence globale et d'émergence spectrale renvoient aux définitions suivantes :

- Dans la réglementation sur le bruit de voisinage :** « L'émergence globale est définie par la différence entre le niveau de bruit ambiant comportant le bruit particulier en cause, et le niveau de bruit résiduel constitué de l'ensemble des bruits habituels, extérieurs et intérieurs, correspondant à l'occupation normale des locaux et au fonctionnement habituel des équipements, en l'absence du bruit particulier en cause »⁴ ;

L'émergence globale ($E = LA_{eq,ambiant} - LA_{eq,résiduel}$) ne doit pas être supérieure à 5 dB(A) en période diurne (de 7 heures à 22 heures) et à 3 dB(A) en période nocturne (de 22 heures à 7 heures), valeurs auxquelles s'ajoute un terme correctif en dB(A), fonction de la durée cumulée d'apparition du bruit particulier.

Le Code de la Santé Publique introduit également la notion d'émergence spectrale « ...définie par la différence entre le niveau de bruit ambiant dans une bande d'octave normalisée, comportant le bruit particulier en cause, et

⁴ Les dispositions des articles R. 1334-31 à R. 1334-37 de la réglementation bruit de voisinage (Code de la Santé Publique) s'appliquent à tous les bruits de voisinage à l'exception de ceux qui proviennent des infrastructures de transport et des véhicules qui y circulent, des aéronefs, des activités et installations particulières de la défense nationale, des installations nucléaires de base, des installations classées pour la protection de l'environnement ainsi que des ouvrages des réseaux publics et privés de transport et de distribution de l'énergie électrique soumis à la réglementation prévue à l'article 19 de la loi du 15 juin 1906 sur les distributions d'énergie.

le niveau de bruit résiduel dans la même bande d'octave, constitué par l'ensemble des bruits habituels, extérieurs et intérieurs, correspondant à l'occupation normale des locaux mentionnés au deuxième alinéa de l'article R. 1334-32, en l'absence du bruit particulier en cause.

Les valeurs limites de l'émergence spectrale sont de 7 dB dans les bandes d'octave normalisées centrées sur 125 Hz et 250 Hz et de 5 dB dans les bandes d'octave normalisées centrées sur 500 Hz, 1 000 Hz, 2 000 Hz et 4 000 Hz. »

- **Dans la réglementation sur le bruit des ICPE⁵** : l'émergence est « la différence entre les niveaux de pression continus équivalents pondérés A du bruit ambiant (établissement en fonctionnement) et du bruit résiduel (en l'absence du bruit généré par l'établissement) ».

D'autre part, l'annexe 1.6, de l'arrêté du 23 janvier 1997 introduit la notion de tonalité marquée « ...détectée dans un spectre non pondéré de tiers d'octave quand la différence de niveau entre la bande de tiers d'octave et les quatre bandes de tiers d'octave les plus proches (les deux bandes immédiatement inférieures et les deux bandes immédiatement supérieures) atteint ou dépasse les niveaux indiqués dans le tableau ci-après pour la bande considérée » :

Bandes de fréquences (1/3 octave)	50 Hz à 315 Hz	400 Hz à 8000 Hz
Seuil à ne pas dépasser	10 dB	5 dB

Tableau 2: Seuils fixés pour les tonalités marquées par l'arrêté du 23 janvier 1997 relatif à la limitation des bruits émis dans l'environnement par les ICPE

- **Selon la norme NF S 31-110**, la notion d'émergence fait référence, à « la modification temporelle du niveau de bruit ambiant induite par l'apparition ou la disparition d'un bruit particulier perceptible sans exiger d'effort d'attention particulier. Cette modification porte sur le niveau global ou sur le niveau mesuré dans une bande quelconque de fréquence ».

Remarques :

La terminologie d'émergence événementielle n'est aujourd'hui pas utilisée pour caractériser le bruit produit par un événement ferroviaire. La norme NF S 31-088 aborde cependant la question de la validation de l'évaluation de la contribution du bruit ferroviaire selon des notions proches, rappelées précédemment.

A noter que l'applicabilité réglementaire de l'émergence, et notamment la capacité à caractériser le bruit résiduel, est régulièrement remise en question dans les groupes de normalisation ou entre d'experts.

2.6. Définition des indicateurs moyens journaliers

L'arrêté du 29 septembre 2022 stipule aussi les indicateurs NAX, définis comme le nombre de circulations ferroviaires, conduisant à un dépassement strict de la valeur X du niveau des indicateurs d'événements : LpASmax ou LAeq,1s,max, LAeq,Tevt, et LAE (ou SEL_A).

Ces indicateurs, nécessitant l'identification des événements sur la période de calcul (jour, soir ou nuit) ont vocation à caractériser, de manière agrégée, **l'exposition de long terme (moyenne journalière annuelle)**, à l'instar des indicateurs énergétiques LAeq, Lden ou Ln.

Leur usage était jusqu'alors plutôt réservé à la caractérisation du bruit aérien, avec un nombre limité de niveaux X (65 et 70 dB(A) par exemple).

Le choix d'une représentation par pas de 2 dB dans le cas de l'arrêté sur les pics de bruit ferroviaire, se justifie par le souhait de limiter les effets de seuils. Cette représentation, qui se veut exhaustive sur la prise en compte des événements ferroviaires, en restant discrète, permet de ne pas prédéfinir de seuils à ce stade et en l'absence de connaissances sanitaires complémentaires.

La représentation des NAX ou celle de la distribution des indicateurs d'événements (par exemple le nombre de LpASmax par classe de 2dB(A)) est discutée au §4.4.3.

⁵ Arrêté du 23 janvier 1997 relatif à la limitation des bruits émis dans l'environnement par les installations classées pour la protection de l'environnement

3. CADRAGE DE L'EXPERIMENTATION – PHASE 1

Sur la base des sections ferroviaires retenues dans l'arrêté et rappelées ci-après, les différentes parties prenantes ont conduit des mesures qui ont été mises en œuvre à leur initiative pour tenir compte des contraintes logistiques et des possibilités matérielles, en prenant en considération les spécifications définies au sein d'un cahier des charges élaboré en commun.

3.1. Sites retenus pour la phase 1

15 sections de voies ferroviaires, catégorisées en sites urbains denses, périurbains ou ruraux ont été retenues dans l'arrêté (voir ci-dessous).

Commune concernée	Gestionnaire concerné	Numéro de ligne	Type de site	Zone d'ambiance	Fréquentation estimée (donnée indicative)	Vitesse moyenne ou maximale de circulation
Bois le Roi (77)	SNCF Réseau	830000	Périurbain	Non modérée	130 trains/jour (GL, Banlieue et fret)	Vmax 160 km/h
Herblay (93)	SNCF Réseau	334000	Périurbain	Modérée	240 trains/jour (GL, Banlieue et fret)	Vmax 130 km/h
Villemomble (93)	SNCF Réseau	957000	Urbain dense	Non modérée	30 trains/jour (fret)	Vmax 90 km/h
Mitry-Mory (77)	SNCF Réseau	229000	Périurbain	Modérée	330 trains/jour (TER, Banlieue, fret)	Vmax 130 km/h
Paris (75)	SNCF Réseau	830000	Urbain dense	Non modérée	700 trains/jour (TGV, grandes lignes, TER, banlieue)	Vmax 100 km/h
Malakoff (92) en amont du technicentre de Chatillon (ancien signal C303)	SNCF Réseau	431000	Urbain dense	Non modérée	200 trains/jour (environ 180 passages de TGV ou TER à vitesse moyenne, et de l'ordre de 20 à 25 TGV en transfert lent voire en stationnement sur voie)	Vmax 90 km/h
Rillieux-le-Pape (69)	SNCF Réseau	886000 et 732330 (lignes raccordées)	Périurbain	modérée	130 trains/jour (TGV, grandes lignes, TER)	Vmax 160 km/h
Malay-le-Petit / Noé (89)	SNCF Réseau	LGV Paris-Lyon	Rural	Non modérée	220 trains/jour (TGV)	Vmax 300 km/h
Montmeyran (26)	SNCF Réseau	LGV Méditerranée	Rural	Non modérée	110 trains/jour (TGV)	Vmax 300 km/h
Le Teil (07)	SNCF Réseau	Ligne 800000	Urbain	Non modérée	25 trains/jour (fret uniquement) 50 % de nuit et 20 % en soirée)	Vmax 100 km/h
Paris (75)	RATP	Ligne 6 (métro pneumatique sur viaduc)	Urbain dense		804 passages/jour	Vmoy 46 km/h
Créteil (94)	RATP	Ligne 8	Urbain dense		633 passages/jour	Vmoy 30 km/h
Sarcelles (93)	RATP	T3 (Tramway pneumatique)	Urbain dense		404 passages/jour	Vmoy 37 km/h
Asnières-sur-Seine (92)	RATP	T1	Urbain dense		402 passages/jour	Vmoy 32 km/h
Saint-Mandé (94)	RATP	RER A	Urbain dense		711 passages/jour	Vmoy 87 km/h

ANNEXE I de l'ARRETE du 29 septembre 2022 : LISTE DES SECTIONS DE VOIES CONCERNÉES PAR LA PÉRIODE D'OBSERVATION OUVERTE DU 1ER NOVEMBRE 2022 AU 30 AVRIL 2023 PAR L'ARTICLE 1^{ER}

Les 15 sites retenus pour la phase d'expérimentation concernent des lignes gérées soit par la SNCF (10 sur 15), soit par la RATP (5 sur 15). Par conséquent ils ne sauraient être complètement représentatifs de l'ensemble du réseau ferroviaire français, tant en termes de typologies de réseaux que de matériels roulants. En particulier, ne sont pas traités les voies ferrées à crémaillères, ou les transports guidés par câbles tels que les funiculaires.

Compte-tenu des observations réalisées par la mesure, Le Teil est à considérer parmi les sites périurbains plutôt qu'urbain. De même, le site d'Herblay correspond plutôt à la typologie « urbain dense » que périurbain.

Ainsi :

- 9 (60%) de ces sites concernent des environnements urbains ou urbains denses ;
- 4 (27%) sont des sites en milieux périurbains ;
- 2 (13%) des sites sont situés en milieu rural.

La présentation détaillée des sites figure dans les fiches de mesure, en annexe 1 de ce document.

Pour la RATP, les 5 sites ont été choisis de façon à couvrir tous les modes (RER, Métro, Tramway), ainsi que deux types de contact (pneus et fer). Les sites sont également représentatifs du contexte urbain dense le plus souvent rencontré avec une multi-exposition route / fer ce qui a conduit à installer des boucles de comptage routier pour calculer les différentes contributions.

6 sites SNCF Réseau étaient situés en Île-de-France. Ils ont été choisis parmi les sites instrumentés par une station permanente de mesure du bruit exploitée par Bruitparif et qui sont inscrits à la convention liant SNCF Réseau et Bruitparif. Ces 6 sites ont été sélectionnés pour couvrir différents types de circulations ferroviaires (des Transiliens, des TER, des grandes lignes ainsi que des trains de fret), des volumes de trafic variés (50 trains par jour pour le site de Villemomble le moins circulé jusqu'à plus de 600 trains par jour en arrivée en gare de Lyon), des vitesses maximales de circulation variant de 90 à 160 km/h et enfin des contextes d'urbanisation variés : sites urbains denses comme péri-urbains. Deux d'entre eux (Malakoff en amont du technicentre de Châtillon, et Paris Coriolis le long du faisceau d'arrivée en gare de Lyon) avaient été intégrés en lien avec des problématiques spécifiques :

- Pour Malakoff : passages à vitesse lente ou stationnement en voie de motrices TaGV générant des sons basses fréquences en provenance des équipements techniques des TaGV (systèmes de ventilation / refroidissement) qui gênent les riverains, et qui se surajoutent aux circulations classiques de TaGV ou TER ;
- Pour Paris-Coriolis : il s'agissait d'intégrer dans l'expérimentation un site complexe par nature (une vingtaine de voies sur une centaine de mètres de largeur) pour identifier les possibilités de production d'indicateurs événementiels dans ce type de contexte.

4 sites SNCF Réseau étaient situés hors Île-de-France :

- Rilleux-La-Pape, en périphérie de Lyon. Le site de mesure est caractérisé par un environnement péri-urbain à proximité de deux lignes jumelées à cet endroit : la LGV Sud-Est et une ligne TER. La vitesse maximale de circulation des trains était de 160 km/h ;
- Malay-Le-Petit/Noé et Montmeyran : Ces deux sites le long de LGV concernent des circulations de TaGV, avec des trains circulant jusqu'à 300 km/h. Ils sont situés dans un contexte rural. Concernant Montmeyran, l'acquisition et le codage des mesures ont été perturbés par les conditions météorologiques (température et vent). L'exploitation n'a finalement pu être réalisée que pour environ 80 trains ;
- Le Teil : site situé en contexte péri-urbain. La ligne SNCF concernée porte un trafic exclusivement « Fret », avec un volume de circulation très faible (25 trains par jour).

A noter que pour ces 4 sites, les zones d'essais avaient été choisies au préalable pour être dans des conditions les plus propices à la réalisation de mesures avec des courbes et des pentes minimales, un dégagement suffisant par rapport au relief et aux bâtiments, peu ou pas de sources de bruit annexes, soit des conditions qui pourraient être qualifiées d'« idéales » et qui ne reflètent pas l'ensemble des conditions de mesurage pouvant être rencontrées.

3.2. Cahier des charges partagé pour les mesures et la détection des trains

Un cahier des charges commun a été construit pour spécifier les caractéristiques ou fonctions minimales du matériel acoustique à utiliser ainsi que celles du matériel de détection des trains ou rames. Les indicateurs, codages et conditions de mesures ont également été définis de manière commune.

Matériel acoustique minimal :

- Sonomètre de classe 1 permettant la mesure de :
 - o Leq courts et LpAF (100ms ou 125 ms), par tiers d'octave, pondérés A et C
 - o LAeq1sMAx et LpASmax
 - o Capacité de mesure en continu sur 24h et autonomie sur la période complète de mesure (15 jours maximum, hors congés scolaires et jours de fêtes)
 - o Facultatif (cf. RGPD) : capacité d'enregistrement d'audio courts sur la durée d'événements détectés.

Dispositifs de caractérisation des trains (en fonction de la faisabilité) :

- Détection des passages
- Estimation du nombre d'essieux
- Longueur
- Vitesse réelle
- Planning de passage des trains

Indicateurs mesurés et codage :

- Format de sortie : csv ou xlsx (un exemple de fichier de mesure est fourni en annexe : Mesure_CSV_réduit.csv)
- Temps (format : 00:00:00:000 10/10/2022), LAeq (100 ou 125 ms) + niveaux (lin) par bandes de 1/3 octave entre 6,3Hz et 20000Hz (ou 20-20000Hz) (voir exemple joint)
- Codage des événements ferroviaires pour a minima 24h d'un point de mesure par journée représentative du trafic de la période (1j semaine + 1j week-end par exemple)

Exemple de codage :

- Code Correspondance
- 0 Pas de mesure
- 1 Éliminé
- 8 Type train 1
- 9 Type train 2
- ...
- 15 Résiduel

Pour chaque événement ferroviaire, les indicateurs suivants seront calculés :

- LpASmax : niveau de pression acoustique maximum, utilisant la pondération temporelle « S » slow (=lente) avec une constante de temps de 1 seconde lorsque l'indicateur est mesuré,
- LAeq,1s,max : niveau de pression acoustique équivalent continu maximum, évalué sur 1 seconde lorsque l'indicateur est modélisé et calculé,
- Pour les événements émergeant de plus de 10 dBA du bruit de fond :
 - o Tevt-10 dB : la durée de détection de chaque événement sonore ferroviaire, et déterminée sur la période, autour de l'événement pour laquelle le LAeq1s est supérieur à LAeq,1s,max – 10 dB(A),
 - o LAeq,Tevt-10 dB : niveau de pression acoustique continu équivalent évalué sur la durée Tevt-10 dB,
 - o LAE (ou SEL_A) : niveau acoustique d'exposition. L'indicateur est calculé de la façon suivante : LAE= LAeq,Tevt-10 dB + 10log10(Tevt-10 dB)/T0), où T0=1s

Note : pour les LGV (V>250 km/h), les indicateurs en dB(C) pourront être calculés a posteriori à partir des données par bandes d'octave.

Conditions de mesurage :

- L'arrêté impose des points de mesurage disposés à 2 m en façade de bâtiments de riverains à des hauteurs et distances représentatifs de l'exposition du site. Dans certains cas, compte tenu des contextes environnementaux ou des sites déjà instrumentés, cette disposition n'a pas pu être respectée.
- Les autres dispositions décrites dans la norme NF S31-110 (Caractérisation et mesurage des bruits de l'environnement) s'appliquent.

4. RESULTATS DE L'EXPERIMENTATION –PHASE 1

4.1. Mise en œuvre des mesures

4.1.1. Description générale de la mise en œuvre

- **Période et durée des campagnes de mesure**

Comme prévu par l'arrêté, les campagnes de mesure se sont étalées sur les 6 mois couvrant la période de novembre 2022 à avril 2023.

La durée des phases effectives de mesurage (voir Tableau 3) a cependant varié significativement entre les sites, allant de **6 mois** en continu, pour les sites instrumentés par Bruitparif qui font partie du réseau de stations permanentes de l'association, à **une à trois semaines** de prélèvements pour les autres (mise en place d'un dispositif temporaire dédié). A noter que l'expérimentation ne visait pas à évaluer des situations d'exposition sur le long terme. Les durées de mesurage retenues, supérieures aux pratiques usuelles (études d'impact, constat de plaintes...) peuvent donc être considérées comme suffisantes car elles auront permis, sur chaque site, d'analyser un nombre significatif d'événements, à l'exception du site du Teil (17 événements).

Sur les sites de mesurages gérés directement par la SNCF, les mesures ont été faites sur 7 jours mais avec certaines perturbations de trafic. Le nombre d'événements analysés est significativement plus faible. Les résultats présentés correspondent à une journée type.

Pour mémoire, la caractérisation des variabilités saisonnières des indicateurs acoustiques ne faisait pas partie des attendus de l'expérimentation prévue par l'arrêté.

Commune concernée	Gestionnaire	Organisme mesureur	Ligne ferroviaire	Nombre d'événements analysés	Durée de la campagne de mesures
Bois le Roi (77)	SNCF Réseau	Bruitparif	830000	23 271	6 mois
Herblay (95)	SNCF Réseau	Bruitparif	334000	33 827	6 mois
Villemomble (93)	SNCF Réseau	Bruitparif	957000	8 145	6 mois
Mitry-Mory (77)	SNCF Réseau	Bruitparif	229000	37 174	6 mois
Paris (75)	SNCF Réseau	Bruitparif	830000	85 855	4 mois
Malakoff (92)	SNCF Réseau	Bruitparif	431000	29 636	6 mois
Rillieux-la-Pape (69)	SNCF Réseau	Acoucity	886000 et 752330	2 319	24 jours
Malay-le-Petit / Noé (89)	SNCF Réseau	SNCF	LGV Paris-Lyon	233	7 jours *
Montmeyran (26)	SNCF Réseau	SNCF	LGV Méditerranée	80	7 jours *
Le Teil (07)	SNCF Réseau	SNCF	Ligne 800000	17	7 jours *
Paris (75)	RATP	RATP	Ligne 6	7 041	
Créteil (94)	RATP	RATP	Ligne 8	2 365	
Sarcelles (95)	RATP	RATP	T5	2 279	14j consécutifs par site
Asnières-sur-Seine (92)	RATP	RATP	T1	6 963	
Saint-Mandé (94)	RATP	RATP	RER A	6 964	

*Compte tenu de perturbations, le nombre d'événements analysés est significativement plus faible que le nombre de circulations total sur la période de mesure

Tableau 3: Répartition des organismes en charge des mesures et nombre d'événements ferroviaires analysés.

- **Protocoles de mesurage**

A partir du cahier des charges rappelé en §3.2, chacune des 4 parties prenantes en charge de la réalisation des mesures (Acoucity, Bruitparif, RATP, SNCF) a adapté, au regard du contexte environnemental, son propre protocole de mesurage et les moyens à mobiliser pour caractériser les indicateurs acoustiques et les paramètres utiles relatifs aux circulations ferroviaires (passages effectifs, vitesses réelles, identification du matériel roulant).

La diversité des types de sites (urbain dense, urbain, péri-urbain, rural) et des natures d'infrastructures a conduit à développer des méthodes et moyens matériels d'analyse pour répondre au mieux aux exigences de l'arrêté.

L'objectif de cette première phase de l'expérimentation visait entre autres, l'appréciation de la **faisabilité métrologique** d'évaluation des indicateurs et en particulier la capacité à discriminer les événements ferroviaires, dans des environnements sonores plus ou moins complexes.

Selon les cas, les mesures acoustiques classiques, ont pu être complétées, soit par l'utilisation complémentaire de système d'information de trafic existant, de systèmes métrologiques de détection dédiés, ou par l'analyse audio des enregistrements.

Pour les mesures acoustiques, des sonomètres de classe 1, capables de réaliser des analyses spectrales en 1/3 d'octave et pour certains dotés d'enregistreurs audio sur seuil, ont été utilisés sur tous les sites.

Aucun des sonomètres n'était équipé de système de reconnaissance automatique des sources.

Une analyse des (sur-)coûts associés aux développements et moyens spécifiques mis en œuvre est donnée au §4.8.

4.1.2. Retours d'expérience de chaque partie prenante sur la mise en œuvre des mesures

○ Sites instrumentés par Bruitparif :

Il n'y a pas eu de difficultés particulières dans la mise en œuvre des mesures, les stations de mesure étant en place antérieurement à la publication de l'arrêté. Bruitparif a fait le choix de réaliser l'expérimentation au moyen de ses systèmes habituels de mesure du bruit ferroviaire pour rester représentatif des conditions usuelles de mesurage et pour rendre compte, le cas échéant, des éventuelles difficultés pour détecter les événements sonores ferroviaires, à l'aide de méthodes classiques.

Les sonomètres du réseau de Bruitparif sont configurés pour mesurer des niveaux Leq_{100ms} . Ils ne fournissent pas directement les niveaux LpS demandés dans l'arrêté. Une méthode de re-calcul automatique de ces derniers, sur la base des niveaux Leq_{100ms} , a été proposée et utilisée par Bruitparif (voir §6.4).



Figure 2: •Sonomètre classe 1 de type RION NL52 muni d'un microphone RION UC-59 et d'une protection anti-intempéries WS-15 et routeur pour l'envoi automatique des données vers le serveur de Bruitparif

○ Site instrumenté par Acoucité :

Le sonomètre a été placé dans le jardin d'un riverain, à proximité (10 m) de la plateforme ferroviaire constituée d'une ligne TER et d'une ligne LGV sur une portion où la vitesse est réduite (fin de ligne à grande vitesse avant raccordement à la ligne classique).

Il n'y a pas eu de difficulté particulière de mise en œuvre de la campagne de mesure.

○ Sites instrumentés par la SNCF :

1. Mise au point d'un protocole de mesurage spécifique

En vue de disposer de données complémentaires destinées à détecter les circulations ferroviaires de la manière la plus exhaustive, la SNCF a développé un système de mesure, en bord de voies, permettant de faire des acquisitions de la pression acoustique en temporel (avec une fréquence d'échantillonnage de 50kHz), couplé à des jauges de contraintes collées sur les rails permettant de détecter le passage des trains, leur sens de circulation mais aussi de connaître le type de trains via le nombre d'essieux détectés et de calculer la vitesse de passage à l'aide d'une caméra. Ces données n'étaient pas spécifiquement demandées par l'arrêté mais ont été jugées utiles à produire pour déterminer les caractéristiques acoustiques des événements ferroviaires et pour leur associer des informations complémentaires.

En complément de ce système d'acquisition, il y avait également un sonomètre en bord de voies et un autre chez un riverain situé à environ 90 m des voies.

Ce système, avec jauges de contraintes, présente l'avantage d'être moins difficile à mettre en place que l'utilisation de pédales de voies par exemple, mais son fonctionnement peut être altéré par les conditions météorologiques (pluie, neige...). Il demande un accès aux voies complexe à organiser. La mise en place de caméras a également été nécessaire pour détecter le type de rame et affiner les vitesses. L'activation des vidéos était pilotée par le système de mesure.

L'identification du numéro de la rame n'était cependant pas toujours possible : contrejour, trop faible luminosité sur certains passages notamment de nuit.

Le travail de conception aura eu l'intérêt de démontrer la faisabilité et les limites du système mais aussi de comparer les résultats des mesures faites avec un système d'acquisition en temporel et celles faites avec un sonomètre (avec un temps d'intégration d'une seconde) pour des événements de l'ordre de 2 à 3 secondes pour un TaGV en unité simple.

L'installation et le démontage des systèmes d'enregistrement sur poteaux caténaux, et disposant d'une autonomie de 4 jours, nécessitaient un remplacement de la batterie réalisable uniquement de nuit, hors trafic voyageur pour des questions de sécurité.

2. Impact de mouvements sociaux (réforme des retraites)

La semaine de mesurage s'est tenue pendant la période de grève, ce qui a eu un impact sur l'implication des équipes et le nombre de circulations ferroviaires, réduit certains jours. Ainsi les mesures de rugosité des rails prévues initialement, n'ont pu être réalisées.

3. Contraintes d'accès aux voies et distance aux sources d'électricité

La pose de l'instrumentation aux abords des voies des LGV nécessite un accès de nuit sur une durée courte (4h).

De plus, le matériel déployé requiert une alimentation sur le réseau 230V, éloignée des sites retenus.

4. Accord des riverains (non-spécifique à l'expérimentation)

Des difficultés ont été rencontrées pour obtenir les coordonnées ou contacter des riverains pour la pose de sonomètre en façade de leur habitation.

o **Sites instrumentés par la RATP :**

1. Problématique RGPD

La politique RGPD de l'entreprise étant très stricte, elle a de fait exclu de l'expérimentation différents systèmes de mesure temporelle de bruit pour recodage ultérieur ou même des détections par caméra et/ou appareils photos qui auraient pu conduire à discriminer les sources, même en utilisant le guide du CNB⁶ sur le sujet.

Les systèmes de détection à venir devront tenir compte de ces contraintes imposées par la RGPD.

Même avec ces précautions, un formulaire dédié à la RGPD et à cette expérimentation a été signé avec chacun des riverains.

2. Problématiques d'assurance et de responsabilité civile

La pose d'instrumentation professionnelle chez les riverains a soulevé des interrogations des juristes RATP sur l'assurance du riverain (dégradation du matériel RATP) et l'assurance de la RATP (dégradation du logement, risques pour les tiers).

Pour cela, il fallait vérifier que l'ensemble des appareillages soient soumis à un marquage CE, que les différents boîtiers ne puissent être ouverts pour éviter tout risque d'électrocution, d'explosion de la batterie, que le dispositif installé ne détériore pas l'installation électrique du riverain. Cette obligation a donc écarté tout dispositif « innovant » à installer chez les riverains.

3. Développement d'un matériel spécifique de détection des événements

Il a été procédé à une mise au point et à un déploiement d'un ensemble d'instrumentations couplant capteurs acoustiques, météorologiques, capteurs de détection des circulations ferroviaires et routières, ainsi qu'au développement d'un système de traitement de l'ensemble des données (serveur dédié). Ce développement est rendu nécessaire par l'impossibilité de poser des pédales d'induction notamment sur les rails à gorge du tramway pour identifier le passage du tramway et sa vitesse.

⁶ Guide n°9 – RGPD et Acoustique – A l'usage des acteurs et des professionnels de l'acoustique. Conseil National du Bruit.

La pose et la dépose des systèmes interviennent systématiquement de nuit avec planification des mesures un mois à l'avance et autorisations nécessaires (la nuit étant susceptible d'être annulée pour « raison impérieuse d'exploitation ou de maintenance »). Cette procédure est donc particulièrement complexe et serait difficilement réalisable à l'avenir pour l'ensemble des mesures qui pourraient survenir le long des différents réseaux ferrés de France.

4. Difficultés d'identification de riverains volontaires

Pour des raisons d'assurance, la totalité du matériel placé chez un riverain doit être « marqué CE ». Or, la complexité et la nature innovante du matériel déployé ont limité le déploiement chez ces derniers. Le déploiement de ces systèmes chez les riverains volontaires a également nécessité la signature d'une convention RGPD (applicable à toutes données personnelles) et à un dédommagement forfaitaire pour l'électricité prélevée ayant freiné leur acceptation pour plusieurs d'entre eux. Cette étape a été particulièrement longue et fastidieuse du fait des allers/retours avec les services juridiques et des refus répétés. Ainsi, pour la commune de Sarcelles, l'instrumentation a dû être réalisée sur un édifice public et non chez un particulier.

5. Impact de mouvements sociaux (réforme des retraites)

Les grèves se déroulant pendant la campagne de mesures ont dû être compensées par des décalages ou le prolongement de la durée d'installation chez les riverains.

4.2. Codage et identification des événements ferroviaires

Dans la suite du texte, le codage fait référence à la détection d'un événement sonore (ferroviaire). L'identification correspond à la mise en relation de cet événement avec un type/modèle de train, dans le cas où différents matériels roulants circulent sur l'infrastructure.

4.2.1. Description des matériels et méthodes employés

Plusieurs méthodes de détection des événements ont été utilisées par les parties prenantes en charge des mesures.

Organisme en charge des mesures	Mesures acoustiques	Autre(s) dispositif(s) météorologique(s)	Méthode de codage et d'identification du matériel roulant	Vitesse réelle de passage	Reconnaissance du type de train
Acoucity	Sonomètre Classe 1 (Leq100ms+ Audio)	Non	Codage des événements sur seuil et réécoute des audio	Non	Uniquement distinction TER/TaGV
Bruitparif	Sonomètre Classe 1 (Leq100ms)	Non	Mise en correspondance des enregistrements acoustiques avec le système de comptage des circulations ferroviaires de la SNCF (ORE)	Non	Oui
RATP	Sonomètre Classe 1 (Lp/Leq100ms)	<ul style="list-style-type: none"> ○ Boitier de détection des matériels roulants (laser) ○ Boucle de comptage des passages routiers ○ Station météo 	Par synchronisation en post-traitement, des différents systèmes météorologiques et isolement des événements ferroviaires Codage sur seuil et élimination des événements particuliers (klaxon, sirènes...)	Vmoyenne uniquement avec quelques incertitudes dues à la fiabilité du système laser et des croisements.	Sans objet pour tous les points excepté RER (2 types de rame).
SNCF	Système d'acquisition IMC + Sonomètres Classe 1 (Lp/Leq100ms) en bord de voie et chez le riverain	<ul style="list-style-type: none"> ○ Jauges de contraintes sur rail (voie circulée, vitesse, nature trains : US, UM, Zefiro, etc) ○ Caméra pour identification du type de train 	Mise en relation des données acoustiques et physiques (jauges) Identification partielle des rames par vidéo NB : un système automatique de reconnaissance des n° de rames existe mais non-utilisé pour l'expérimentation.	Oui	Partiel

Tableau 4: Matériels et méthodes de détection et codage des événements ferroviaires utilisés pendant la phase 1 de l'expérimentation

4.2.1.1. Le codage audio sur seuil :

Matériel utilisé : Sonomètre de classe 1 avec enregistrement audio

Cette procédure semi-automatique repose sur l'isolement sur seuil des événements sonores, puis sur la réécoute de l'audio pour en confirmer sa nature. C'est un processus **chronophage mais qui limite les erreurs** d'association, en éliminant les événements sonores ne correspondant pas au passage d'un train. La faisabilité de mise en œuvre de la méthode reste cependant limitée dans le cas de signaux bruités, en présence d'autres sources.

La méthode a été utilisée par Acoucité sur le site de Rillieux-La-Pape avec information et accord du riverain chez qui le sonomètre a été installé.

L'écoute a permis une classification des événements par grandes familles (TER, TaGV...) sans plus de précision sur la nature des rames, en l'absence de données vidéo.

Note importante : les enregistrements audio comportant des voix humaines non anticipées doivent respecter les principes du règlement général sur la protection des données (RGPD) et faire l'objet de brouillage irréversible ou destruction le cas échéant. Il est nécessaire de prévoir également un dispositif d'information et en amont des riverains et usagers du secteur d'instrumentation, ainsi que le recueil de consentement des riverains chez lesquels l'instrumentation est réalisée. L'utilisation du codage audio est en pratique limité à des environnements non susceptibles de comporter des voix humaines, ce qui en réduit le champ d'application (voir guide CNB).

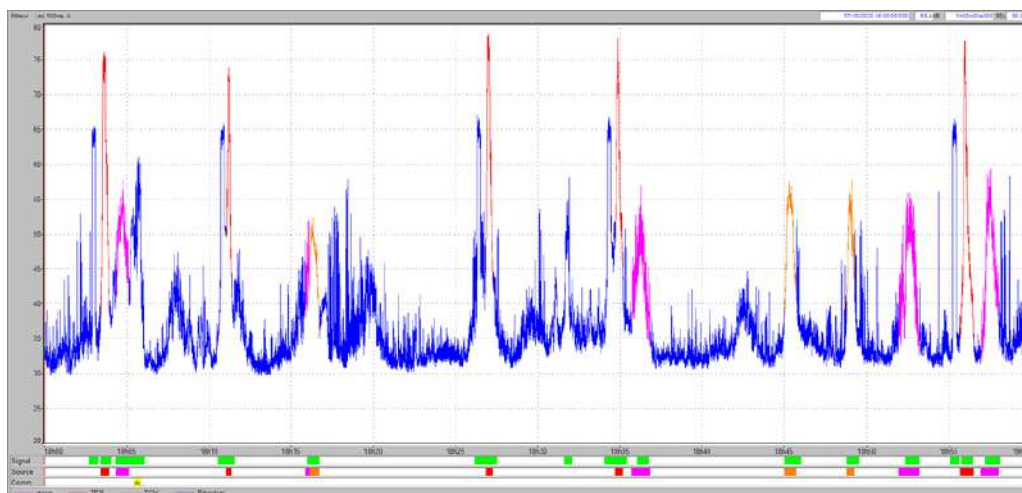


Figure 3: Vu d'une portion de fichier codé. Les événements ferroviaires apparaissent en rouge et orange sur le graphique. (Source : Acoucité)

4.2.1.2. Le codage des événements sonores par traitement du signal (utilisation de filtres passe-bas Butterworth) :

Il s'agit d'une méthode mise au point par Bruitparif et utilisée dans le cadre de l'expérimentation, uniquement sur les sites instrumentés par l'association.

La détection des événements sonores est assurée au moyen d'une méthode de dépassement de seuils acoustiques et de critères de durée mini et maxi ajustables selon les sites. Elle repose sur un lissage préalable des niveaux mesurés en LAeq,100ms.

Cette détection est opérée à partir des LAeq,100ms mesurés par le capteur. Un lissage de cette courbe LAeq est réalisé en appliquant deux filtres passe-bas Butterworth :

- Un filtre de fréquence de coupure de 0,1 Hz et d'ordre 5 (lissage rapide) – courbe Lf en bleu ;
- Un de fréquence de coupure de 0,01 Hz et d'ordre 1 (lissage lent) – courbe seuil en rose.

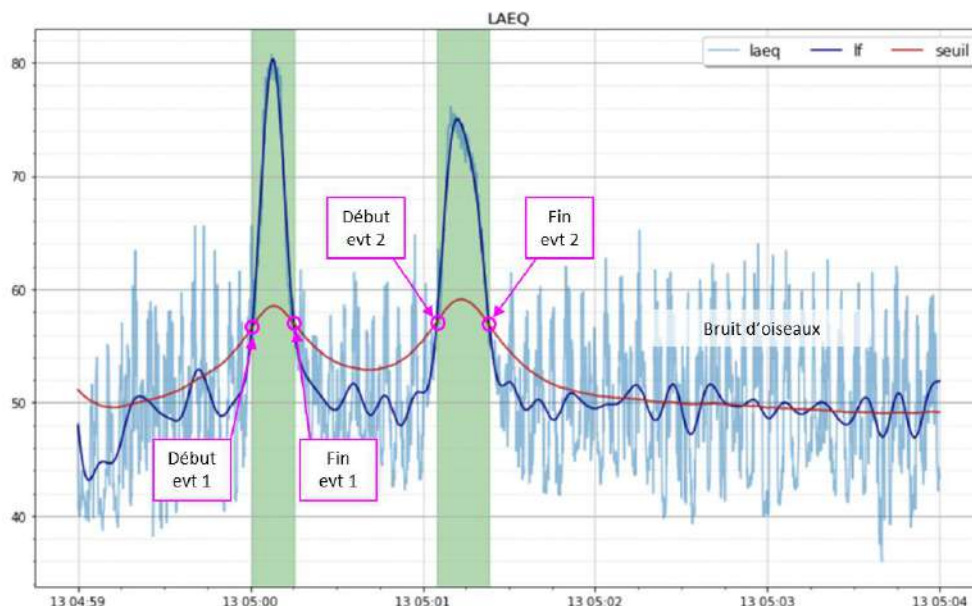


Figure 4: Illustration du principe de la méthode de détection des événements proposée par Bruitparif et basée sur un double filtrage temporel.

Ce lissage permet de s'affranchir des fluctuations potentiellement fortes du niveau sonore instantané LAeq,100ms et de faciliter la détection d'événement. Un dépassement significatif de la courbe « lissage rapide » par rapport à la courbe « lissage lent » définit un événement sonore. Les intersections entre les deux courbes lissées définissent le début et la fin de l'événement sonore. Des paramètres en niveau sonore et en durée permettent d'ajuster cette détection :

- Les durées minimales et maximales de l'événement ;
- Le niveau L_{max} minimal à atteindre au cours de l'événement ;
- L'écart minimal entre le niveau maximal atteint par la courbe « lissage rapide » et le niveau qu'elle atteint en début en fin d'événement ;
- Une condition de « plateau » sur le LAeq,100ms : il s'agit d'un paramètre supplémentaire sur une combinaison seuil / durée (= le niveau de bruit doit atteindre au dépasser X dB(A) pendant au moins X secondes consécutives). Cela vise à exclure certains types d'événements comme le passage isolé de voitures ;
- Lors de l'installation d'une station permanente de mesure du bruit ferroviaire, une phase préalable d'observation des données mesurées de quelques jours consiste à vérifier et à ajuster manuellement les paramètres de seuil / durée pour s'assurer de la bonne détection des trains. Cette phase repose essentiellement sur un examen du profil d'évolution temporelle du niveau sonore LAeq ;
- A noter que les événements ainsi identifiés par Bruitparif dans le cadre des expérimentations étaient confirmés, lorsque cela était possible, par les informations de circulation présentes dans la base ORE.

Cette technique est utilisée en opérationnel sur le réseau de mesure de Bruitparif dans de multiples contextes, y compris en présence de sources de bruit parasites. Elle a démontré une bonne capacité de détection des événements sonores. Son domaine d'application, et notamment sa sensibilité à la complexité de l'environnement sonore, resteraient toutefois à préciser.

4.2.1.3. Identification par mise en correspondance des mesures acoustiques avec le système de comptage des circulations SNCF (ORE)

Matériel utilisé : Sonomètre de classe 1 + Base de données des circulations (ORE)

L'Observatoire de la REgularité (ORE) est un système de balises réparties sur certains points remarquables du réseau qui permet d'obtenir l'horaire réel de passage de chaque circulation identifiée par son numéro. Les balises sont réparties de façon plus ou moins dense sur le réseau. Ainsi, dans les secteurs les plus isolés, elles peuvent être espacées de plus de 50 km. La balise communique une information horodatée à la minute pour les passages, les arrivées et les départs pour les trains avec arrêts dans les gares équipées de balises.

Cette méthode d'association des événements sonores avec la base de données des circulations ferroviaires ORE de la SNCF a été mise en œuvre avec succès sur la plupart des sites instrumentés par Bruitparif, et ce de manière automatisée sur les 6 mois de mesure (plus de 200 000 événements sonores liés au trafic ferroviaire traités). La

détection du nombre d'événements est proche de 100% sur des sites comme Herblay, Bois-Le-Roi ou encore Mitry, légèrement moins bonne pour Villemomble (voir Tableau 5 et Figure 5). Ce résultat plus faible pour Villemomble est probablement lié à un problème dans l'exhaustivité des relevés de trafic ORE. L'association à un type de train varie quant à elle entre 61 et 83%. L'horodatage à la minute ronde, reste la principale source d'incertitude, mais l'intérêt de la méthode est toutefois démontré et permet de limiter les erreurs de codage. Reste que la vitesse ne peut être déterminée avec ce processus.

site	indicateur	6h-18h	18h-22h	22h-6h	24h
95220-HERBLAY-CHATEAUBRIAND	Nombre d'événements sonores ferroviaires détectés	120	47	27	193
	Nombre total de trains trafic au niveau de la gare la plus proche (SNCF-ORE)	121	48	26	195
	Différence événements sonores vs trafic ORE	-1	-1	0	-2
	Différence (en %)	99.0%	98.4%	101.2%	99.1%
77590-BOIS-LE-ROI-METRA	Nombre d'événements sonores ferroviaires détectés	80	32	18	130
	Nombre total de trains trafic au niveau de la gare la plus proche (SNCF-ORE)	84	32	17	133
	Différence événements sonores vs trafic ORE	-4	0	1	-3
	Différence (en %)	95.2%	98.7%	106.3%	97.4%
77290-MITRY-LILLE	Nombre d'événements sonores ferroviaires détectés	129	51	26	206
	Nombre total de trains trafic au niveau de la gare la plus proche (SNCF-ORE)	133	53	25	212
	Différence événements sonores vs trafic ORE	-4	-3	0	-6
	Différence (en %)	97.3%	95.1%	100.7%	97.2%
93250-VILLEMOMBLE-CURIE	Nombre d'événements sonores ferroviaires détectés	22	12	17	51
	Nombre total de trains trafic au niveau de la gare la plus proche (SNCF-ORE)	17	11	17	45
	Différence événements sonores vs trafic ORE	4	1	1	6
	Différence (en %)	125.4%	112.4%	103.2%	114.0%

Tableau 5 : Nombre d'événements sonores ferroviaires détectés et nombre de circulations ferroviaires relevées via le système ORE de SNCF-Réseau – moyenne par périodes sur les 6 mois d'expérimentation. Source : Bruitparif

SITE	B Num Obs	N° circulation	Date Origine	Date Observation	Mnemo catégorie statistique	Catégorie statistique	Structure suiveuse	Série tracée	WebC odCirc	WebD atCirc	WebCirc Link	Ecart Horaire	Type_Jour	Période	code_famille	Famille
95220-HERBLAY-CHATEAUBRIAND	3078455850	136599	31/10/2022	44866.01528	TBS	SNCF-Transilien, Train transport Ile-de-France Mobilités à charge, ligne J	SNCF-Transilien	250000	136599	31/10/2022	136599-31102022	0	Jour ouvrable	22h-6h	SNCF-Transilien_250000	Transilien_NG
95220-HERBLAY-CHATEAUBRIAND	3078455964	136746	01/11/2022	44866.01806	TBS	SNCF-Transilien, Train transport Ile-de-France Mobilités à charge, ligne J	SNCF-Transilien	250000	136746	01/11/2022	136746-01112022	1	Jour ouvrable	22h-6h	SNCF-Transilien_250000	Transilien_NG
95220-HERBLAY-CHATEAUBRIAND	3078456235	797818	01/11/2022	44866.02153	UBS	SNCF-Transilien, Train transport Ile-de-France Mobilités à vide, ligne J	SNCF-Transilien	250000	797818	01/11/2022	797818-01112022	0	Jour ouvrable	22h-6h	SNCF-Transilien_250000	Transilien_NG
95220-HERBLAY-CHATEAUBRIAND	3078456664	136737	01/11/2022	44866.02778	TBS	SNCF-Transilien, Train transport Ile-de-France Mobilités à charge, ligne J	SNCF-Transilien	250000	136737	01/11/2022	136737-01112022	0	Jour ouvrable	22h-6h	SNCF-Transilien_250000	Transilien_NG

Tableau 6: Exemple de contenu fourni par le système ORE - site d'Herblay – Source : SNCF/Bruitparif

Dans certains cas très particuliers spécifiquement franciliens et parisiens, comme au niveau du site de Paris-Coriolis, l'utilisation des fichiers ORE ne permet pas d'association des événements sonores détectés avec les trafics relevés. Les points de comptage ORE sont trop loin du point de mesure et se trouvent de plus au niveau des gares, donc en situation de terminus ou d'origine. Cette distance, cumulée à de fortes variations de vitesses dues à l'approche de la gare, et le nombre très important de trains rendent impossible l'association temporelle des événements sonores avec ces données de trafic.

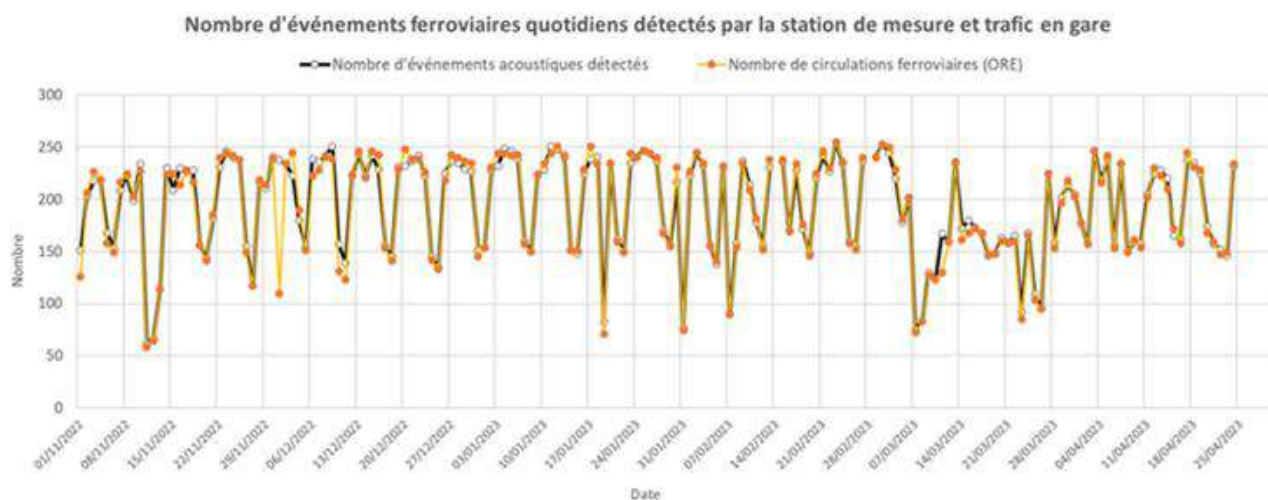


Figure 5: Exemple de mise en correspondance des nombres d'événements ferroviaires et circulations quotidiennes (ORE) (site d'Herblay) – Source : Bruitparif

L'identification utilisant conjointement mesures acoustiques et données ORE est réalisable sur des stations de mesures dont l'emplacement a été volontairement choisi relativement proche de points de comptage ORE. Elle ne peut être généralisée, avec le même niveau de fiabilité, sur l'ensemble du réseau national.

4.2.1.4. Méthodes de détection des circulations (SNCF)

Matériel utilisé : Jauges de contraintes sur rail + Sonomètre de classe 1 + enregistrements vidéo



Figure 6: illustration des systèmes de mesures utilisés par la SNCF sur les sites LGV. A gauche, le système à proximité des voies composés de microphones et caméra vidéo (+ jauge de contraintes). A droite le microphone et sa batterie posé chez un riverain.
Source : SNCF

Le système de mesures, associant un microphone avec des jauges de contraintes, fonctionne en parallèle avec des vidéos pilotables par le système de mesures. Pour chaque pic de bruit, il est nécessaire de :

- Vérifier que les jauges de contraintes ont bien détecté la circulation ;
- Identifier le nombre d'essieux ;
- Croiser avec le type de train (confirmé par la caméra, la vidéo permettant d'identifier le numéro de (des) rame(s) différent(s) du numéro de la circulation, si la luminosité est suffisante et en l'absence de contrejour)
- Détecter le sens de passage ;
- Déterminer la vitesse de la circulation et le temps de passage.

4.2.1.5. Méthodes de détection des circulations (RATP)

Matériel utilisé : Sonomètre de classe 1, station météorologique, boîtiers de détection des rames et véhicules routiers.

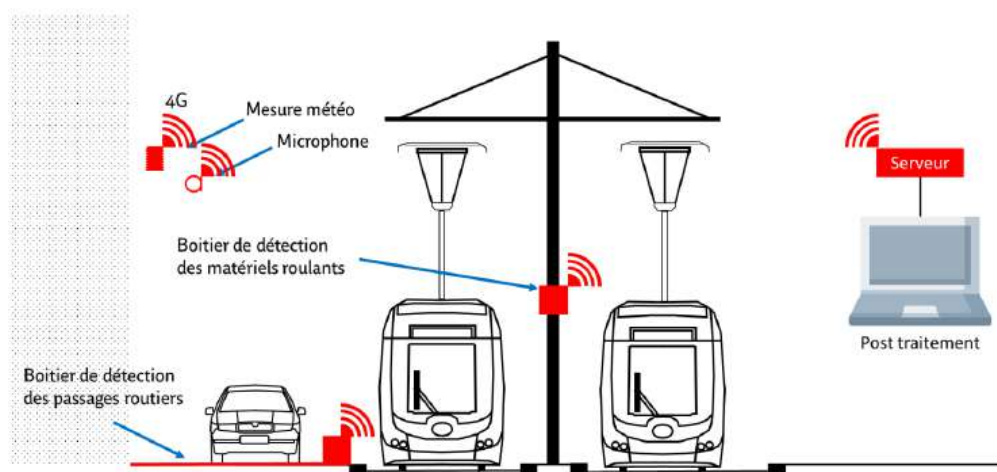


Figure 7: Description schématique des systèmes de mesure utilisés pour les expérimentations – Source RATP

Un système de mesure relativement complexe a été mis en œuvre par la RATP pour pouvoir coder les événements ferroviaires avec le maximum de précision compte tenu du contexte urbain et de la présence de sources sonores de divers natures (routières, alarmes, activités humaines, ...). Il est composé à la fois d'un système de détection des rames de métro, tramway ou RER, complété d'un système de détection des véhicules routiers circulant sur les voies adjacentes. La mesure acoustique a été effectuée chez le riverain, à 2m en façade comme demandé dans l'arrêté, lorsque cela était possible, ou dans une situation d'exposition équivalente (bâtiment administratif).

Même si le système mis en place lors de cette expérimentation est particulièrement lourd et complexe, il n'a pas permis de déterminer les passages de trains de façon certaine. La RATP évalue environ à 4h le temps de post traitement par 24h qu'il a fallu pour intégrer/exclure de l'analyse les passages de rame détectés ou non.



Figure 8: Points de mesure en façade des bâtiments (a : Créteil, b : Asnières, c et d sur bâtiment administratif à Sarcelles) – Source RATP

4.2.2. Difficultés rencontrées pour la détection et le codage des événements sonores ferroviaires

Sites instrumentés par Bruitparif

Site de Paris-Coriolis :

Le site concerne un large faisceau ferroviaire composé d'une vingtaine de voies (100 m de largeur) sur lequel la détection et l'identification des trains est complexe : passages simultanés, distances et vitesses de passage variables, différences de topographie avec des voies en surélévation sur un remblai masquant partiellement le bruit des trains circulant sur les voies les plus à l'ouest. De plus, l'unique capteur installé est également sous influence du trafic routier de la rue Coriolis, ce qui complexifie la discrimination des événements (ferroviaire, routier, activité humaine, etc.).

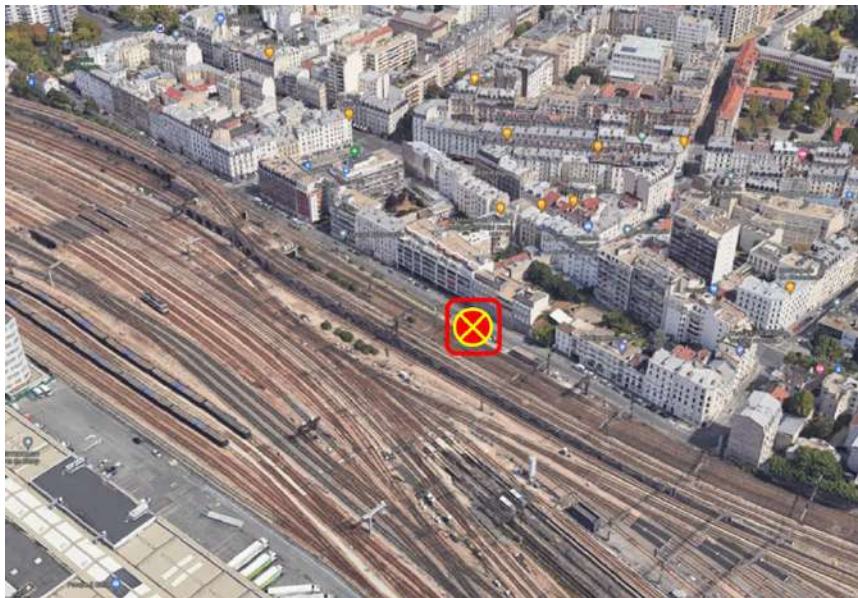


Figure 9: Vue du positionnement du capteur permanent Bruitparif sur la rue Coriolis (source : Bruitparif)

Par conséquent, les résultats des mesures n'ont pas pu être exploités avec la même fiabilité que sur les autres sites, d'autant qu'il est impossible d'associer les événements sonores mesurés et détectés aux circulations ferroviaires relevées par le système ORE⁷, les trafics ORE étant relevés au niveau de la gare de Lyon et de la gare de Bercy. Une fiche de mesure a toutefois été réalisée mais avec des réserves sur la fiabilité du processus de détection des événements sonores ferroviaires.

On notera qu'un site comme Paris-Coriolis, exposé à un très grand nombre de circulations ferroviaires, pose la limite de la notion de « pics de bruit » et de leur discrimination avec, à certaines périodes, des passages de trains simultanés ou qui se recouvrent partiellement.



Figure 10: Evolution temporelle du niveau de bruit – site Paris-Coriolis – Les passages de trains se recouvrent partiellement et la détection de pics de bruit est rendue complexe

Site de Malakoff – Technicentre de Châtillon

Cette station de mesure a pour objectif la caractérisation spécifique des TaGV circulant à vitesse faible ou nulle en direction ou en provenance du Technicentre de Châtillon. La méthode de détection a été adaptée pour assurer un suivi spécifique des passages de TaGV. Elle repose sur l'exploitation de la bande de tiers d'octave centrée sur 315 Hz, spécifique au bruit des équipements des motrices de TaGV. Les événements sonores ferroviaires n'ont donc pas été caractérisés de manière exhaustive. Une fiche de résultats a néanmoins été réalisée pour information mais avec une réserve sur les performances en termes de détection d'événements.

⁷ ORE : Observatoire des régularités (SNCF), présenté au §4.2.1.3

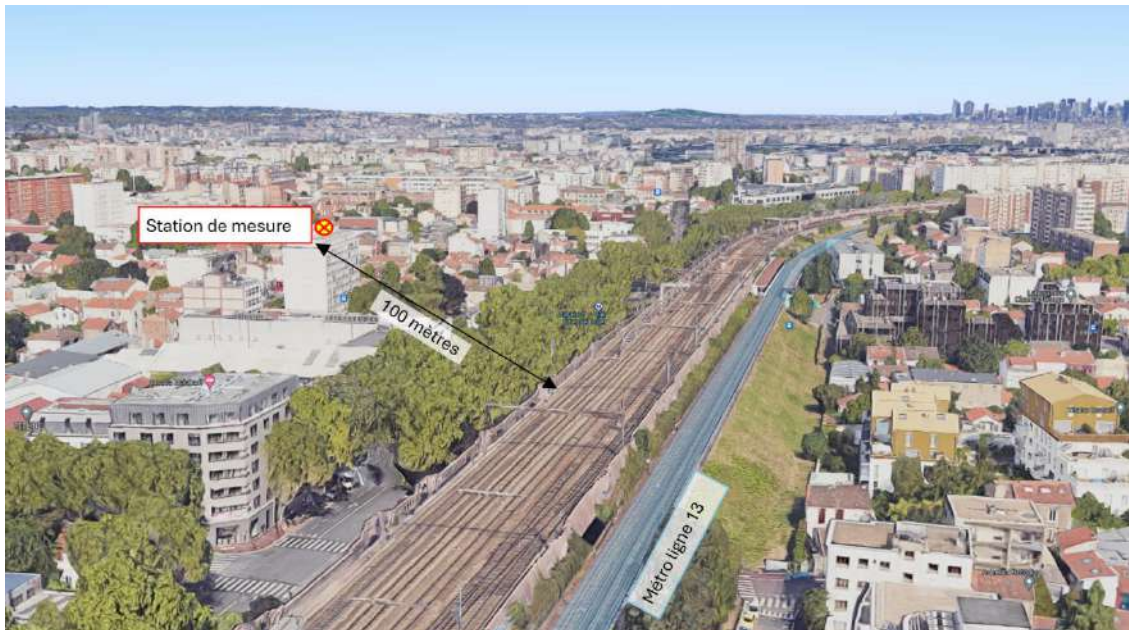


Figure 11: Vue du positionnement du capteur permanent Bruitparif à proximité du Technicentre de Châtillon (source : Bruitparif)

Pour ce type de situations, des nouveaux systèmes, comme la localisation par antenne acoustique, ou des enregistrements audionumériques pourraient être testés afin de vérifier leur pertinence (voir §6.2). Le choix a été fait de rester sur les systèmes standards historiques utilisés sur ces sites pour justement illustrer les potentielles difficultés associées à la détection des événements.

Site instrumenté par Acoucité

Pas de difficultés particulières de codage des trains (hors contraintes classiques liées au codage manuel à partir de fichiers audios).

Sites instrumentés par SNCF Réseau

Volume des données à traiter

Le nombre important de passages enregistrés a nécessité des développements informatiques spécifiques pour traiter à la fois les données acoustiques, des jauges de contraintes et des enregistrements vidéo permettant l'identification des rames. Les signaux des jauges de contraintes étant certains jours bruités, il a fallu trouver des méthodes dédiées de traitement de signal pour les débruiter sinon les signaux n'auraient quasiment pas été exploitables. Malgré certaines automatisations, il a été impossible d'analyser correctement l'ensemble des données collectées.

Sites instrumentés par la RATP

Synchronisation des données

La synchronisation temporelle et l'analyse combinée des données nécessitent de gros moyens de calcul, compte tenu de la durée des mesures effectuées (plusieurs milliers de passages à traiter, notamment pour le trafic routier bien plus dense que le trafic ferroviaire).

Difficultés de discrimination des événements

Dans le cas de présence de sources routières et ferroviaires aux contributions acoustiques équivalentes, la **discrimination des événements** s'avère particulièrement complexe, même avec des systèmes de détection en voie dédiés. La Figure 12 illustre cette difficulté (courbe en rouge).

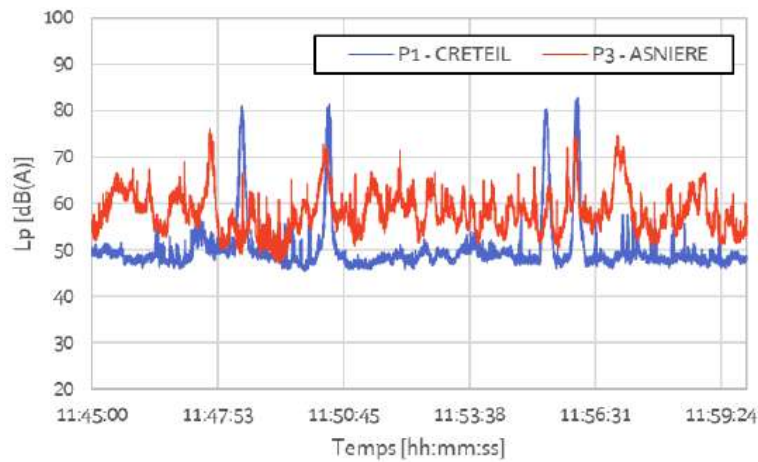


Figure 12: Exemple d'enregistrement des niveaux de bruit L_p sur les sites de Créteil (source ferroviaire prépondérante) et Asnières (multi-exposition routes/fer) – Source : RATP

Problèmes de post traitements

La synchronisation de trois systèmes indépendants, ayant tous les trois une vocation différente (pas de temps différent, synchronisation des horloges) a été un vrai défi lors du post-traitement des données.

De plus, comme cela est montré sur la Figure 7, chacun des systèmes téléverse une information indépendante sur un serveur central chaque jour. La synchronisation des systèmes est réalisée ensuite dans un fichier *.csv. Le codage des passages de train s'est donc déroulé a posteriori à partir du fichier *.csv et non simplement sur les outils d'analyse du sonomètre. Plusieurs freins sont apparus :

- Il est possible de coder a posteriori le fichier natif « sonomètre » à la main, mais le travail s'avère fastidieux. Cette opération manque de robustesse, car elle consiste à importer les codages en tant que commentaires dans le logiciel natif plutôt que de recoder réellement le fichier natif (format propriétaire) et cela engendre de nombreux plantages systèmes :
 - Le nombre de passage « fer » (> 100 passages) engendre intrinsèquement de nombreuses erreurs et plantages au vu de la taille du fichier et le nombre de champs complétés ;
 - Les bases temporelles 125ms pour le sonomètre et 100ms le système de détection des rames, 1s pour les passages de voiture induisent des erreurs d'affectation des sources. En effet, le codage de sources par la méthode décrite ci-dessus n'autorise que le codage de sources sur la base de la seconde ;
 - Il est impossible de superposer différents codages notamment lors d'un masquage d'un passage de voiture. Il est par conséquent nécessaire d'affecter l'événement soit au trafic routier ou autres sources soit au trafic ferroviaire ou de supprimer l'événement.
- Impossibilité de coder a posteriori les événements routiers, le nombre d'événements étant trop important (jusqu'à 116 000 passages sur 15 jours). La seule façon de procéder est de coder les passages routiers dans le fichier *.csv. Cette difficulté est liée au logiciel historique d'analyse (dBTrait© de la société ACOEM) utilisé par la RATP qui, d'une part, n'est pas compatible avec d'autres systèmes métrologiques (ici, détecteur voie et boucle de comptage routier) et d'autre part, est instable lors d'une gestion de plus de 100 codages.
- Impossibilité de coder à la fois les événements routiers et ferroviaires dans le même fichier *.csv pour discriminer tous les passages de rame pollués par les routiers. En effet, le volume de données fait de nouveau planter le système.

A l'heure actuelle, la reconnaissance de source et la catégorisation ne sont pas implantés automatiquement dans les sonomètres classiques, de classe 1. Le prélèvement sur une dizaine de passage, par sens, avec un opérateur à pied d'œuvre codant les événements de l'ambiance urbaine est privilégié de préférence sur la période 22h-6h pour minimiser la pollution des passages par les bruits routiers et autres sources de bruit.

Par conséquent, même avec une instrumentation complexe, 1 mode par ligne, 4 heures pour 24h de mesure de reprise manuelle ont été nécessaires pour obtenir un panel représentatif des événements sonores au passage des rames des différentes lignes instrumentées. Ces reprises consistent à coder sur seuil les sirènes, avertisseurs, alarmes, etc. à recenser les codages issus des différents capteurs, à formater les fichiers horodatés (routine développée en interne) et à déboguer les erreurs liées à chaque journée de mesure.

Remarques complémentaires de la RATP

- Outre les moyens utilisés pour l'expérimentation, il a été impossible de quantifier et catégoriser automatiquement ou après codage via un opérateur la totalité des pics de bruit générés par le trafic ferroviaire en urbain dense (masquage temporel, fréquentiel, croisement, ...). Généralement un opérateur à pied d'œuvre est nécessaire pour coder les trains sur site même pour une mesure de 24h, cela revient à effectuer un échantillonnage des pics événementiels à minima 20 passages par sens de circulation. Il est par conséquent nécessaire de quantifier l'impact de la répétabilité et reproductivité en dB associé au futur indicateur événementiel.
- Pour les futures modélisations, la caractérisation des « pics de bruit » émis par les matériels roulants devra être extensive et demandera des moyens très importants (caractérisations sur plusieurs jours en soirée pour définir une valeur maximale, une valeur moyenne des pics à prendre en compte dans les modèles),
- Pour les futurs constats, deux expertises réalisées à deux moments différents pourront mener à deux résultats différents suivant les conditions d'exploitation et les imprévus mesurés pendant la durée d'observation. La question de la représentativité de la circulation ferroviaire (heure de pointe, heure creuse, régulation de l'offre, exploitation dégradée, etc.) devra être prise en compte.

4.2.3.Synthèse intermédiaire sur la détection et le codage des événements ferroviaires

Toutes les parties prenantes ont dû utiliser une méthode de détection des événements ferroviaires, puis de post-traitement, chacune présentant ses avantages et limites ou incertitudes, pour répondre aux calculs des indicateurs de l'arrêté.

- La méthode de codage audio, utilisée par l'observatoire Acoucity, ne nécessite pas de recours à un matériel spécifique hormis un sonomètre (classe 1) capable d'enregistrer les événements en audio. La détermination des événements sonores ferroviaires par réécoute audio est une méthode qui fonctionne bien si le bruit de l'infrastructure ferroviaire est prédominant mais cette méthode présente l'inconvénient d'être très chronophage. Elle doit donc rester limitée à des applications de mesures de courte durée (quelques jours tout au plus). Cette méthode pose en outre des contraintes liées au respect des bonnes pratiques en matière de RGPD (voir le guide produit par le CNB à ce sujet⁸). En outre, l'affectation fiable des types de train ainsi que la vitesse réelle de circulation ne sont pas accessibles uniquement par ce type de codage et d'instrumentation.
- La méthode utilisée par l'observatoire Bruitparif repose sur l'utilisation d'un sonomètre classique de classe 1 et sur la mise en œuvre d'algorithmes automatisés de détection des événements sonores et de mise en correspondance avec les données de circulations ferroviaires issues de la base de données ORE de la SNCF. Cette méthode a démontré sa capacité opérationnelle à bien détecter et qualifier les événements sonores ferroviaires, dans la mesure où elle a pu être éprouvée sur un grand nombre de données, soient plus de 200 000 événements ferroviaires (mesures en continu durant 6 mois sur 4 sites de mesure répondant à des caractéristiques diversifiées). Sur 2 sites complexes et très particuliers (Paris-Coriolis et Malakoff), la caractérisation des événements ferroviaires n'a cependant pu être aussi exhaustive (problème de discrimination des événements).
- Afin de s'affranchir d'une métrologie complémentaire, Bruitparif a utilisé les données de circulation fournie par le système ORE (SNCF). S'il permet une association et une identification des trains avec les données acoustiques satisfaisantes, certains paramètres importants, comme la vitesse, ne sont pas accessibles. La disponibilité d'outils équivalents sur l'ensemble des gestionnaires d'infrastructure français reste à vérifier. De plus, la capacité de mise à disposition systématique de ces données reste à la discrétion des gestionnaires et des moyens techniques dont ils disposent. Le codage des trains à partir des informations extraites d'ORE est la méthode courante utilisée pour le codage des événements ferroviaires dans les études acoustiques basées sur l'indicateur LAeq. Elle a ses limites en cas de croisement de circulations et/ou si les points de mesures sont éloignés des balises. Généralement suffisante pour identifier l'essentiel de l'énergie sonore des différents passages, elle peut être insuffisante pour identifier précisément à quelle circulation correspond un événement sonore codé et donc le pic lié à cette circulation.
- Les deux gestionnaires impliqués dans les mesures ont mis en place des systèmes complémentaires dédiés de détection des événements ferroviaire (et même routiers pour la RATP). Si ces systèmes permettent de coder automatiquement la majorité des passages, ils restent complexes à mettre en œuvre et nécessitent des ressources

⁸ Sous réserve des conditions adoptées par certaines entreprises qui interdisent tout enregistrement sonore chez les riverains pour éviter toute risque de poursuites.

informatiques importantes, notamment pour synchroniser les informations acoustiques et non-acoustiques. Une part de dépouillement manuel chronophage reste néanmoins nécessaire.

- Le dispositif mis en place par la SNCF a permis, en outre, d'accéder à une mesure des vitesses de circulations réelles. Cette donnée est utile, notamment pour estimer le temps de passage, mais aussi pour analyser l'impact des distributions de vitesses sur les événements sonores, d'un grand nombre de circulations, sans être exhaustif pour autant.
- La SNCF et la RATP ont développé et déployé des systèmes métrologiques de codage, d'identification des trains (y compris vidéo) et d'acquisition et d'analyse de données complémentaires (vitesse, codage des autres sources). Ce matériel, non-standard, engendre des contraintes parfois importantes de mise en œuvre. Il implique des interventions anticipées, parfois de nuit, dans l'emprise ou sur l'infrastructure (cas de capteurs posés sur les voies ou les poteaux supportant les caténaires par exemple). De plus ce matériel supplémentaire, par rapport à des mesures acoustiques « classiques », nécessite l'utilisation de sources d'électricité de forte capacité (réseau ou batteries de forte capacité), complexifiant la mise en place sur les sites isolés ou chez les riverains. Malgré ces dispositifs spécifiques mis en place, l'intégralité des informations nécessaires n'a pu être obtenue. En cause : l'absence d'information sur de nombreux passages, le doute sur la qualification de certains événements (trains ou autres sources de bruit perturbatrices). La lourdeur de l'analyse des vidéos a limité l'exploitation de ces données.
- Le dispositif utilisé par la RATP étant plus sensible aux intempéries, aux croisements de trains et devant être ajusté aux mesures à 2m en façade, même si les vitesses de trains ont pu être mesurées dans la plupart des cas, nombre de passages restent entachés d'une erreur liée à la détection, surtout lorsque le nombre de passages sont du même ordre de grandeur que le bruit résiduel. Dans la pratique, un tel système n'est pas généralisable à l'ensemble des mesures à réaliser aux abords du réseau RATP.

En conclusion, l'expérimentation aura permis de montrer que la mesure avec codage des événements ferroviaires est possible et opérationnelle, lorsque le caractère événementiel du bruit ferroviaire est bien caractérisé, mais qu'elle s'avère limitée dans les cas complexes suivants :

- Le cas de voies et circulations ferroviaires multiples avec événements simultanés ;
- Le cas de la présence d'autres sources (routières notamment) générant des bruits de niveaux sonores maxima ou moyens proches ou pouvant masquer les pics de bruit ferroviaire ;
- Le cas des sources de faible niveau (tramways sur pneus, source éloignée du récepteur...), avec à chaque fois la difficulté de discriminer chaque événement ferroviaire.

Dans ces cas, la détection et le codage des événements nécessite alors le déploiement de moyens humains et/ou matériel plus conséquents (et potentiellement coûteux) qui ne garantissent pas par ailleurs une détection exhaustive des événements ferroviaires. À ce jour, de manière opérationnelle, seule la réécoute des enregistrements audios des événements (chronophage, et contraignante pour respecter le RGPD), permet de s'assurer qu'aucun événement perturbateur n'est survenu lors du passage d'une circulation ferroviaire identifiée.

De façon générale, le volume des données à traiter s'avère conséquent. Ces traitements peuvent être partiellement automatisés dans certains cas, mais ils nécessitent souvent, en l'état actuel des méthodes, une intervention « manuelle ». Cette problématique n'est pas nouvelle et se pose déjà aux métrologues en charge d'identifier la contribution acoustique d'une infrastructure ferroviaire. Elle est toutefois exacerbée par le fait que les résultats recherchés portent sur des indicateurs événementiels et pas uniquement sur les niveaux énergétiques LAeq de long terme ou Lden. Une erreur de 10% dans le codage du nombre d'événements ferroviaires induira un écart de moins de 0,5 dB(A) du niveau LAeq,24h alors qu'elle induira un écart de l'ordre de 10% d'un indicateur de type NAX.

Des travaux complémentaires (voir §6) concernant les outils et protocoles de codage et d'identification des événements ferroviaires restent à ce jour nécessaires si l'on souhaite caractériser de façon exhaustive et précise les événements acoustiques ferroviaires. L'usage de critères basés sur le contenu spectral ou la sonie permettrait par exemple d'améliorer la détection de certains événements avec des signatures fréquentielles spécifiques qui sont à ce jour mal détectés en utilisant seulement des indicateurs en dB(A).

Le constat de ces difficultés renvoie cependant à la question de la nature événementielle effective des situations d'exposition étudiées et à la pertinence d'évaluer des indicateurs de « pics de bruit » quelle que soit la nature de

l'environnement sonore. Les conditions de validation d'une mesure du bruit ferroviaire contenues dans la norme NF S31-088 (voir §2.2), notamment les critères de rejet de certains événements dans le cas de bruits masquants (« Si le bruit résiduel perturbe, de façon continue ou intermittente le bruit ferroviaire par des événements sonores de niveaux comparables ou supérieurs (à partir de - 3 dB) aux niveaux élémentaires obtenus pendant le passage de certaines circulations, les mesurages des circulations correspondantes doivent être rejetés ») constituent en cela un cadre de référence. Néanmoins, ces critères, basés sur l'utilisation de métriques évaluées en dB(A), sont susceptibles de « masquer » certaines émergences spectrales, en particulier à basses, voire hautes fréquences. Certains passages de trains peuvent potentiellement être écartés de l'analyse, alors qu'une analyse plus fine, basée sur le contenu spectral ou la sonie (sensation auditive) par exemple, conduirait à les retenir en tant qu'événements sonores perceptibles et potentiellement gênants. L'étude de critères complémentaires à ceux définis par la norme NF S 31-088 se situe en dehors des objectifs de l'expérimentation, mais constitue une piste pour des travaux ultérieurs.

Aussi, dans des situations de multi-exposition avec une forte contribution sonore des sources non ferroviaires (route par exemple), se pose la question de la faisabilité de la production d'indicateurs de bruit ferroviaire, en particulier d'indicateurs événementiels. Le cas échéant, ce point sera à préciser ultérieurement par le législateur, pour fixer des limites d'application d'une évolution de la réglementation vers des indicateurs acoustiques événementiels, dans des cas particuliers de multi-exposition pour lesquels les événements sonores ferroviaires ne pourraient pas être bien détectés faute de bruits masquants ou interférents.

4.3. Bornage des événements ferroviaires et estimation du Tevt

L'évaluation des indicateurs événementiels introduits dans l'arrêté repose sur la capacité à isoler, dans l'environnement sonore plus ou moins complexe, les « pics de bruit » ou émergences événementielles produites par les circulations ferroviaires et à caractériser la durée de ces événements sonores.

4.3.1. Méthodes mises en œuvre pour estimer le Tevt

Le Tevt est défini dans l'arrêté comme « la durée de détection de l'événement sonore lié à la circulation ferroviaire ». Sa détermination reste donc sujette à interprétation et son mode d'évaluation peut impacter certains des indicateurs qui en dépendent : Leq,Tevt, SEL en particulier. Si le cahier des charges établi en amont des campagnes de mesure a proposé de l'évaluer sur la base du LAeq,1s,max - 10 (voir §3.2), dans le cas d'événements sonores émergeant de plus de 10 dB(A), son interprétation a été laissée à la discrétion des opérateurs en charge des mesures, dans l'esprit de l'expérimentation.

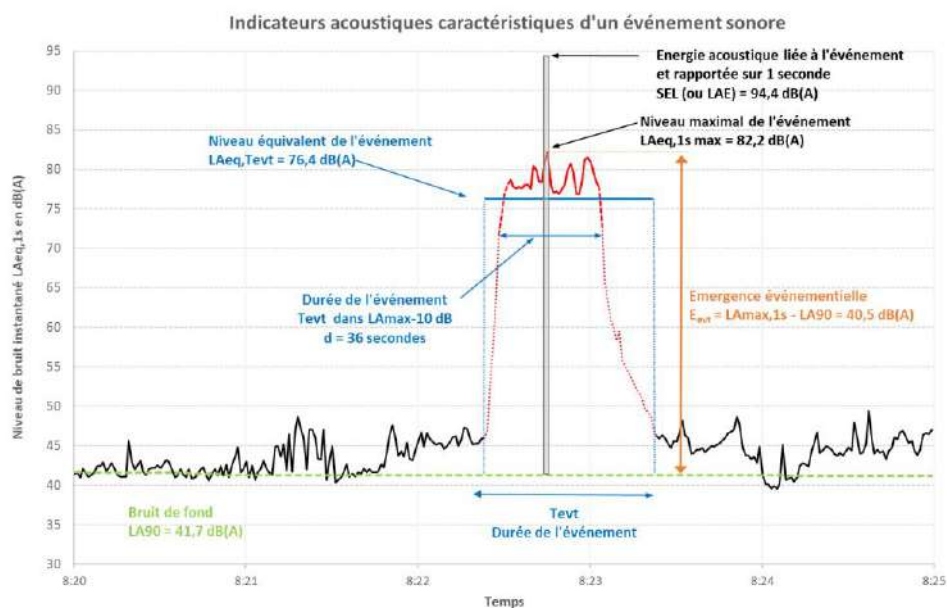


Figure 13: Illustration des indicateurs utilisés pour caractériser un événement. La notion d'émergence événementielle est présentée et discutée au §2. Source : Bruitparif.

Les méthodes utilisées pour déterminer le Tevt dans le cadre de l'expérimentation ont été les suivantes :

- **Détermination par un opérateur par écoute audio** (méthode utilisée par l'observatoire Acoucité) : La détermination du début et de la fin de l'événement ferroviaire est réalisée à partir de l'écoute de l'audio. La durée de l'événement découle directement de ce bornage et correspond à la durée de perception de l'émergence de l'événement par rapport au bruit résiduel, telle qu'elle peut être ressentie par les riverains. Toutefois, il s'agit d'une méthode reposant sur l'acuité de l'opérateur, qui est par ailleurs chronophage et exigeante.

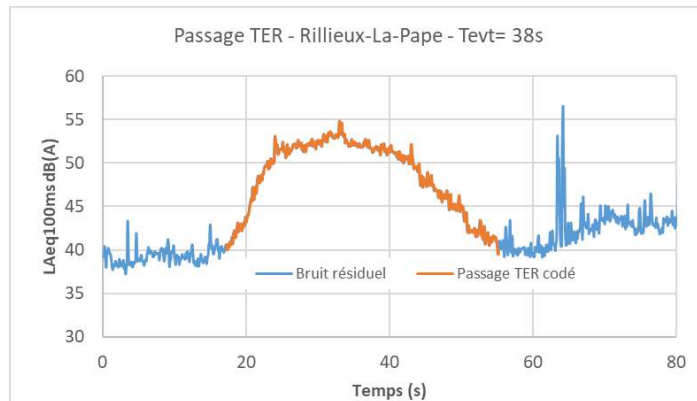


Figure 14: Exemple d'analyse du passage d'un TER sur le site de Rillieux-La-Pape. Source : Acoucité

- **Détermination automatisée par traitement du signal** (méthode utilisée par l'observatoire Bruitparif) : La méthode de codage automatisé par traitement du signal mise au point par Bruitparif (utilisation de deux filtres passe-bas Butterworth) fournit une estimation de la durée de l'événement. La détermination du début et de la fin de l'événement ferroviaire est réalisée de manière automatique par intersection entre les deux courbes lissées (voir Figure 4). La durée de l'événement ainsi détecté est issue d'une technique d'analyse du signal qui peut ne pas correspondre parfaitement avec la perception de l'événement sonore par les riverains, dans la mesure où elle a plutôt tendance à minimiser la durée réelle d'émergence de l'événement sonore ferroviaire.
- **Détermination à partir du bornage dans l'intervalle « L_{Amax-10} dB(A) »** : C'est le choix qui a été fait par la RATP, la SNCF ayant retenu l'intervalle « L_{Amax-15} dB(A) » pour les sonomètres en façades et en bord de voies. Il s'agit d'une méthode qui présente l'avantage d'être reproductible. Toutefois cette méthode ne peut pas être appliquée lorsque l'événement ferroviaire est partiellement perturbé par d'autres sources de bruit dans l'intervalle de temps « L_{Amax-10}dB(A) ». Pour les résultats issus des instrumentations spécifiques en bord de voie, le Tevt a été assimilé au temps de passage (Tp) qui nécessite de connaître la vitesse de chaque convoi ferroviaire considéré, ces systèmes de mesures étant directement en bord de voie. Il convient de noter que dans le cas général, la durée de l'événement (Tevt) est différente du temps de passage (Tp) qui se calcule comme le rapport entre la longueur du train et sa vitesse de circulation.

Bruitparif a également pratiqué cette méthode « L_{Amax-10} dB(A) » en parallèle du bornage automatique effectué par traitement du signal via la méthode des filtres. Les indicateurs LAeq, Tevt et SEL ont ainsi pu être calculés par Bruitparif pour les deux estimations de Tevt (le Tevt déterminé par bornage via la méthode des filtres, et Tevt correspondant à l'intervalle L_{Amax-10} dB(A)). Ceci a permis de comparer les deux types de résultats sur un grand volume de données (voir plus loin).

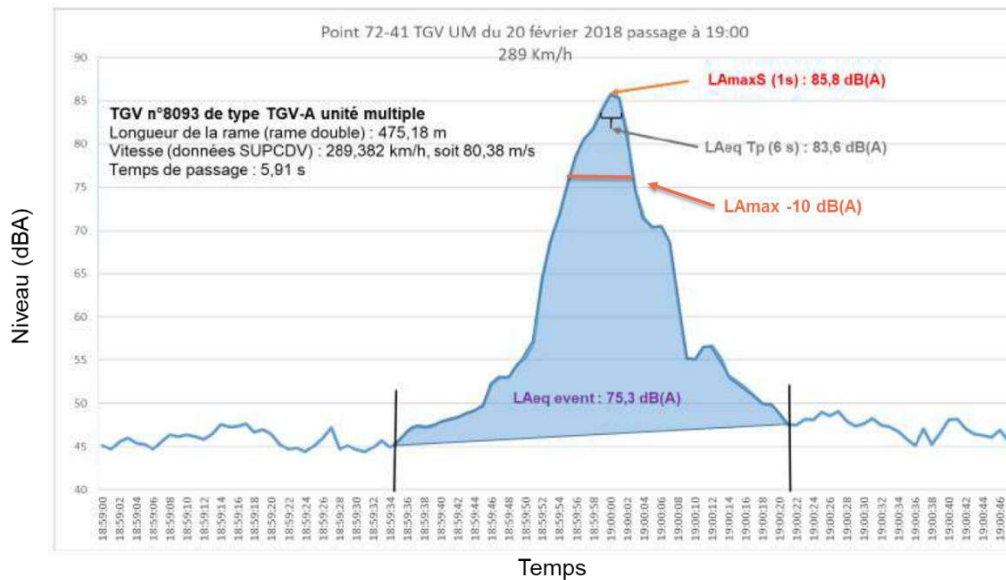


Figure 15: Détermination du temps de passage et du Tevt sur la base du (Lmax-10 dB(A)). Par définition, cette méthode n'est applicable qu'aux événements sonores émergents de plus 10 dB(A) du bruit résiduel.

4.3.2. Discussion sur le choix de la méthode d'estimation du Tevt

Des écarts conséquents (plusieurs secondes à dizaines de secondes) peuvent exister en fonction de la méthode d'estimation retenue et donc influencer sur l'estimation d'indicateurs dépendants du Tevt.

Bruitparif a mis en évidence qu'en dehors du site de Villemomble, supportant un trafic Fret (lent) important, les écarts d'estimations du SEL (ou LAE), selon que l'on considère la durée correspondant au (Lmax-10 dB(A)) ou le bornage complet, sont de l'ordre de 0,2 à 0,3 dB(A) et donc relativement négligeables. Lorsque les vitesses de circulation sont plus faibles (ex : Villemomble, Fret) ou à grande distance d'exposition on peut néanmoins s'attendre à des écarts proches de 1 dB(A).

Des écarts nettement plus importants, et significatifs, compris entre 2,7 dB(A) (site de Villemomble) et 1,8 dB(A) (Bois-le-Roi), sont constatés sur l'indicateur LAeq,Tevt.

Ce constat résulte de la nature même des indicateurs : la valeur du SEL résulte d'une sommation énergétique et est « pilotée » par les niveaux les plus élevés. La modification de la durée considérée de l'événement, dès lors que le contenu énergétique principal est pris en compte, n'influera que peu sur la valeur de l'indicateur. A contrario, le LAeq,Tevt moyennant ce contenu énergétique sur la durée considérée de l'événement, sera plus fortement dépendant de celle-ci. L'analyse du passage d'un convoi ferroviaire (Figure 16) est donnée à titre d'exemple : la durée complète de l'événement est estimée à 13 s, alors que le bornage sur le (Lmax-10dB(A)) conduit à estimer une durée d'événement de 4,5s. L'écart sur le LAeq,Tevt mesuré sur ces durées est de : $10 \cdot \log(13/4,5) = 4,6$ dB(A). L'impact du choix du Tevt sur le SEL est réduit (0,2 dB(A)) car la contribution énergétique principale, « pilotant » sa valeur, est comprise dans la durée des 4,5s.

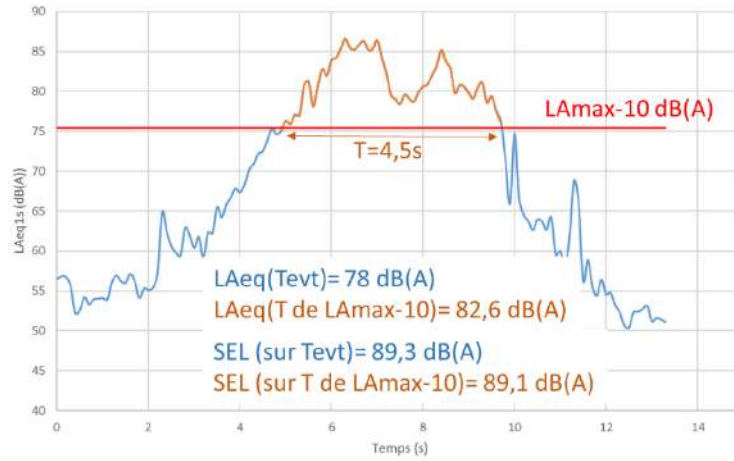


Figure 16: Comparaison de l'estimation des indicateurs à partir du Tevt évalué sur le bornage complet de l'événement et à partir du (LAmax-10dB). Données issues des mesures Bruitparif sur le site de Villemomble (Fret), ré-exploitation Cerema.

4.3.3.Représentation du Tevt

Si le Tevt est aujourd'hui principalement utilisé pour calculer d'autres indicateurs (SEL, LAeq,Tevt), il constitue un indicateur à part entière permettant de rendre compte du temps d'exposition au bruit des circulations ferroviaires. La Figure 17 illustre par exemple la variation du temps d'exposition entre un point de mesure situé en bord de voie (Tevt_{moyen}=3,8s) et chez un riverain situé à 90m du bord de voie (Tevt_{moyen}=7s).

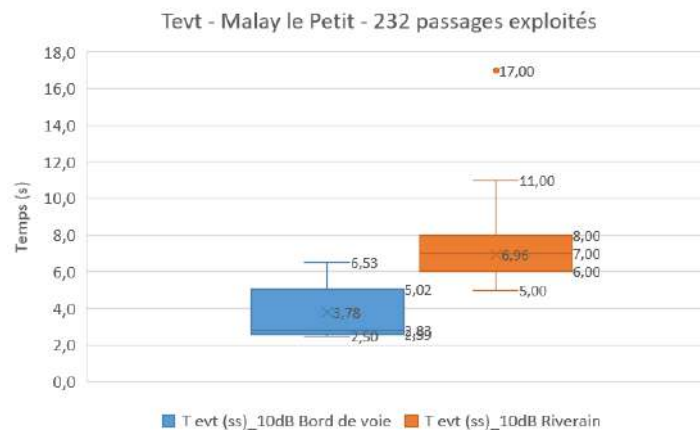


Figure 17: exemple de représentation de l'exploitation des Tevt sous forme de « boîte à moustache » – Site de Malay-le-Petit (LGV) – Points en bord de voie et chez un riverain à 90m. Le Tevt a été évalué à partir du LAmax-10dB.

Une représentation alternative est celle de la distribution de l'ensemble des Tevt (voir Figure 18).

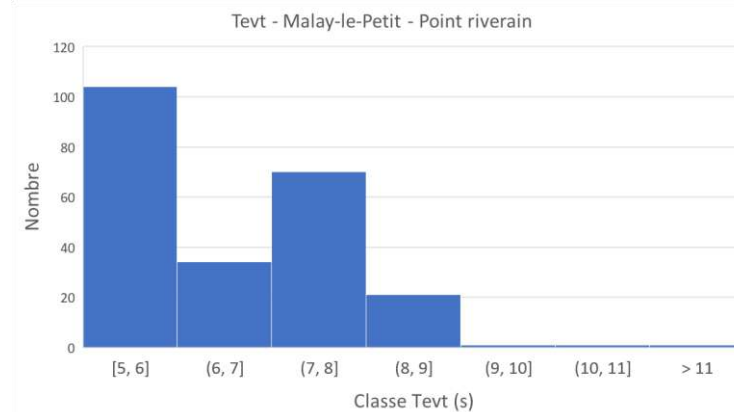


Figure 18: exemple de représentation de l'exploitation des Tevt sous forme de distribution par classes – Site de Malay-le-Petit (LGV) – Points un riverain à 90m. Le Tevt a été évalué à partir du LAmax-10dB.

4.4. Représentation des indicateurs moyens journaliers (NAX)

4.4.1. Indicateurs évalués en dB(A)

L'arrêté prévoit l'évaluation du nombre d'événements N(A)X à partir de X=50 dB(A), par pas de 2 dB(A). Compte tenu du nombre important de mesures réalisées, et dans un souci de lisibilité du rapport, seul un échantillon représentatif des résultats obtenus est présenté ci-après. L'intégralité des résultats exploités est à retrouver en Annexe 1.

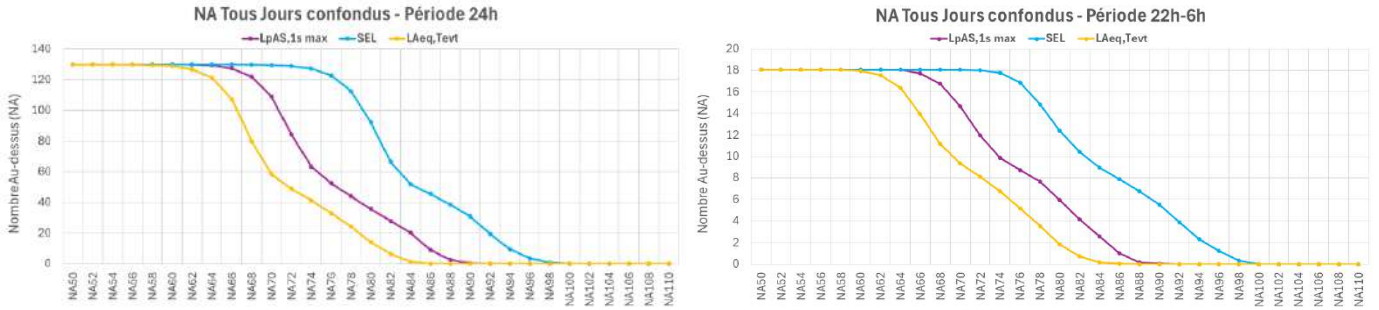


Figure 19: Exemple de représentation des NAX pour les trois indicateurs LASmax, LAeq,Tevt et SEL par pas de 2 dB(A). Site de Bois-le-Roi. Source : Bruitparif.

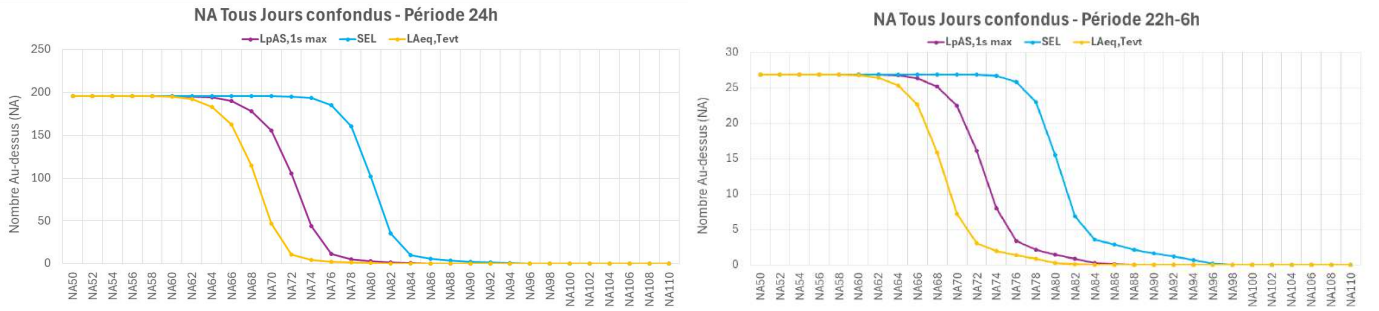


Figure 20: Exemple de représentation des NAX pour les trois indicateurs LASmax, LAeq,Tevt et SEL par pas de 2 dB(A). Site d'Herblay. Source : Bruitparif.

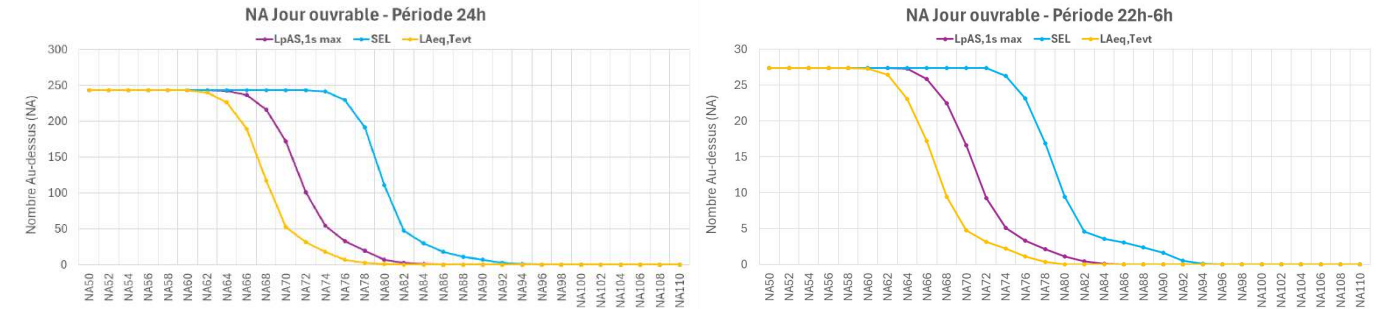


Figure 21: Exemple de représentation des NAX pour les trois indicateurs LASmax, LAeq,Tevt et SEL par pas de 2 dB(A). Site de Mitry. Source : Bruitparif.

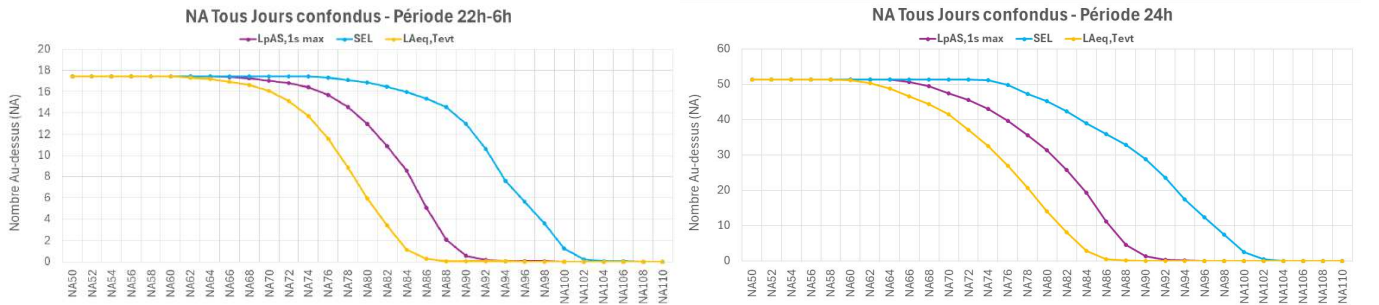


Figure 22: Exemple de représentation des NAX pour les trois indicateurs LASmax, LAeq,Tevt et SEL par pas de 2 dB(A). Site de Villemomble. Source : Bruitparif.

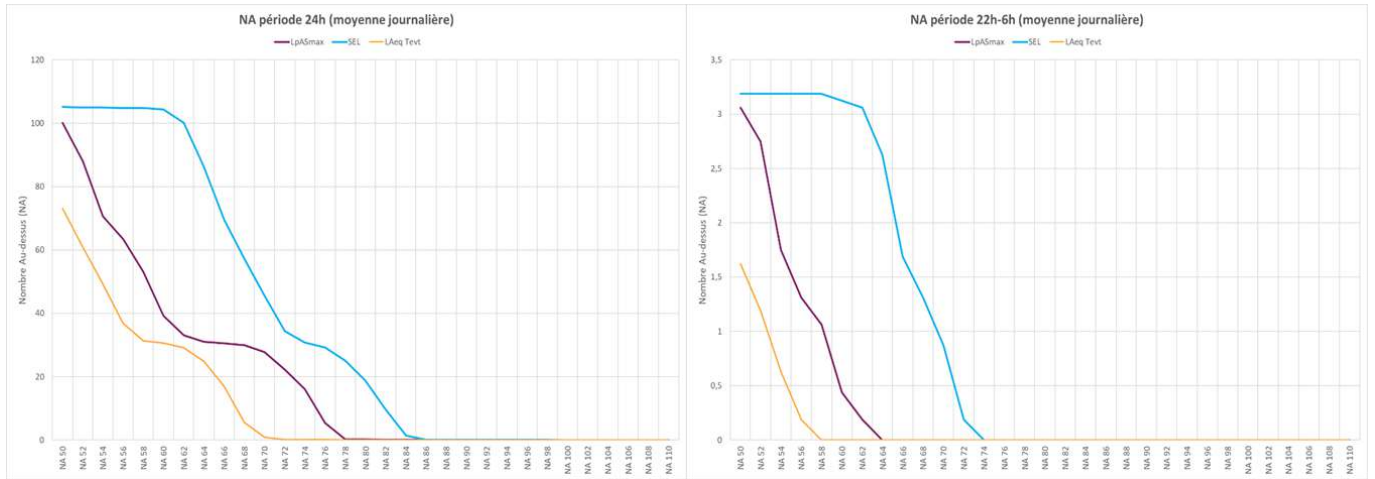


Figure 23: Exemple de représentation des NAX pour les trois indicateurs LpA5max, LAeq,Tevt et SEL par pas de 2 dB(A). Site de Rillieux-la-Pape (TaGV+TER). Source : Acoucity.

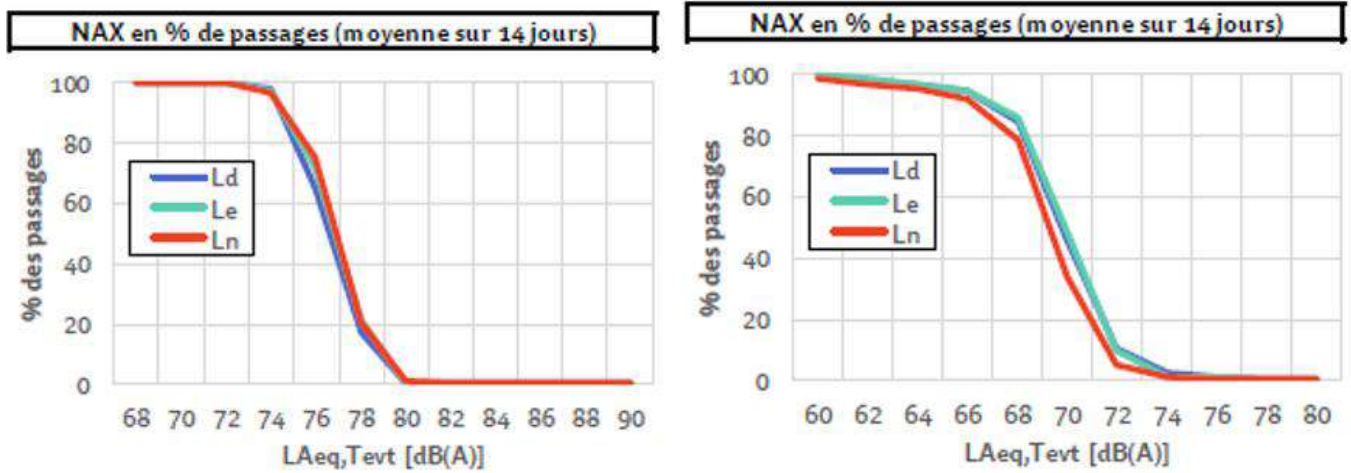


Figure 24: Exemple de représentation des NAX pour l'indicateur LAeq,Tevt par pas de 2 dB(A). Site Métro Ligne n°8 (fer) à gauche et Ligne n°6 (pneus) à droite. Source : RATP.

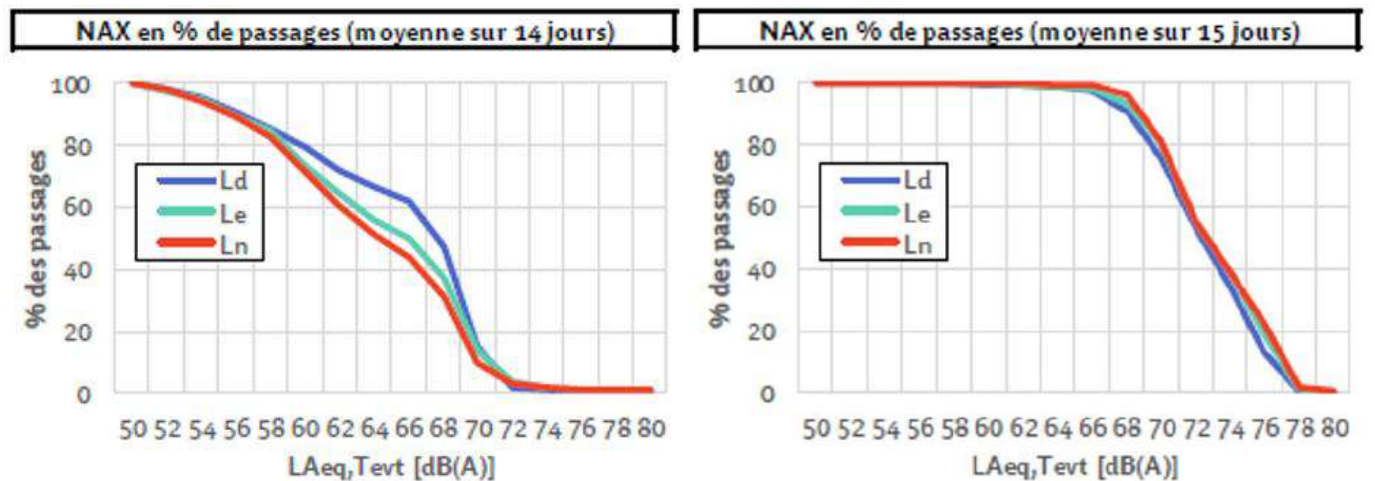


Figure 25: Exemple de représentation des NAX pour l'indicateur LAeq,Tevt par pas de 2 dB(A). Site Tramway T1(fer) à gauche et RER A à droite. Source : RATP.

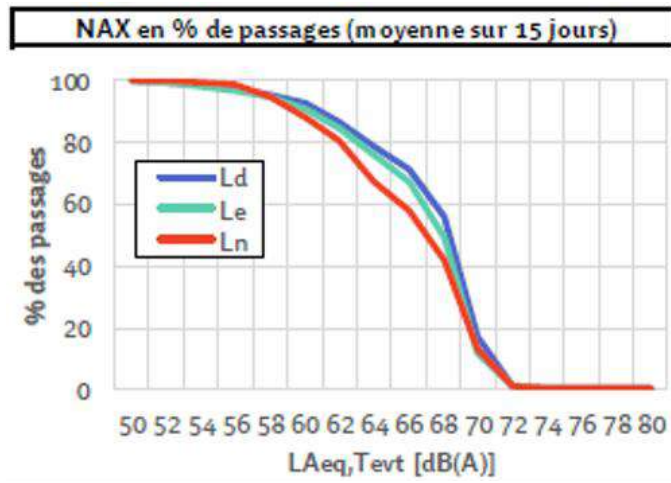


Figure 26: Exemple de représentation des NAX pour l'indicateur LAeq, Tevt par pas de 2 dB(A). Site Tramway T5 (Pneus). Source : RATP.

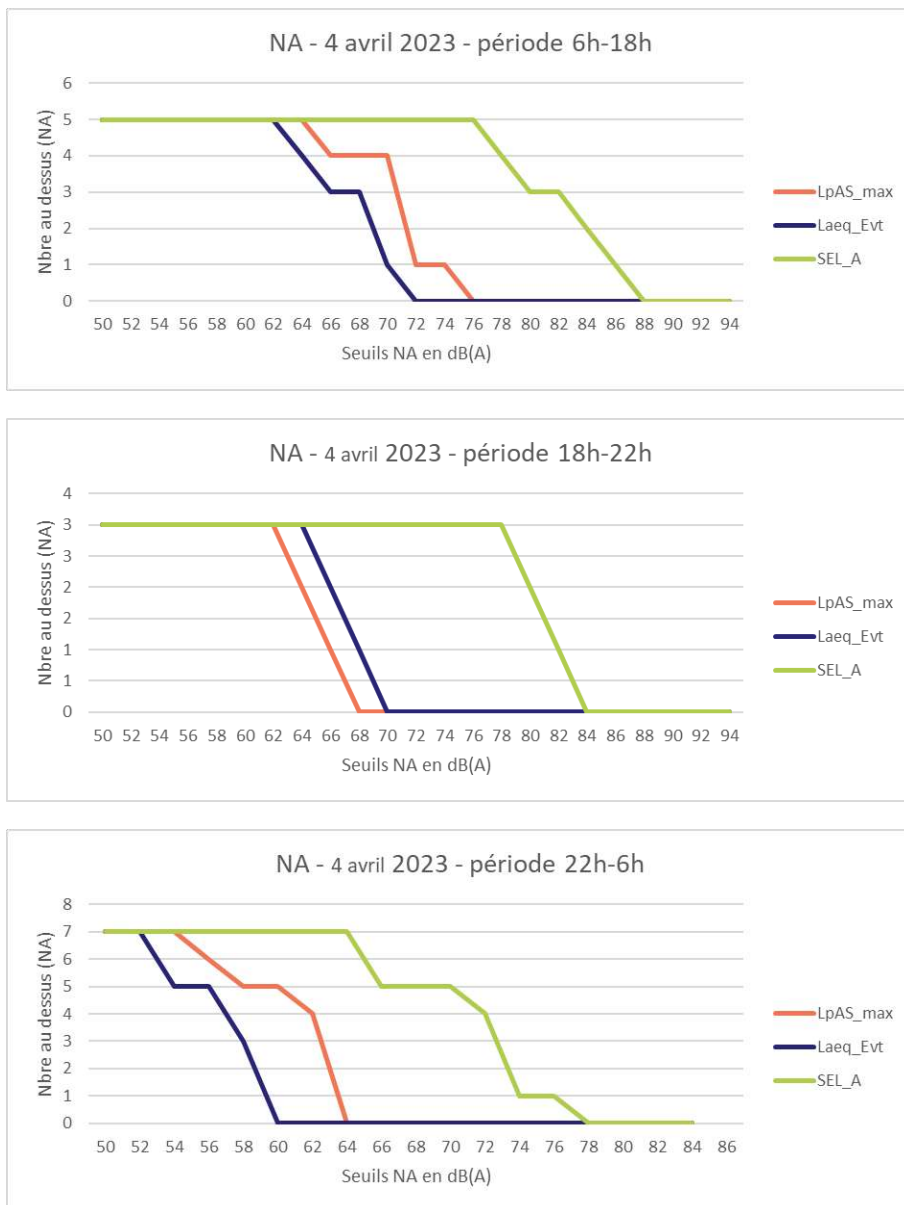


Figure 27: Exemple de représentation des NAX pour les trois indicateurs LpASmax, LAeq, Tevt et SEL par pas de 2 dB(A). Site du Teil (Fret). Source : SNCF.

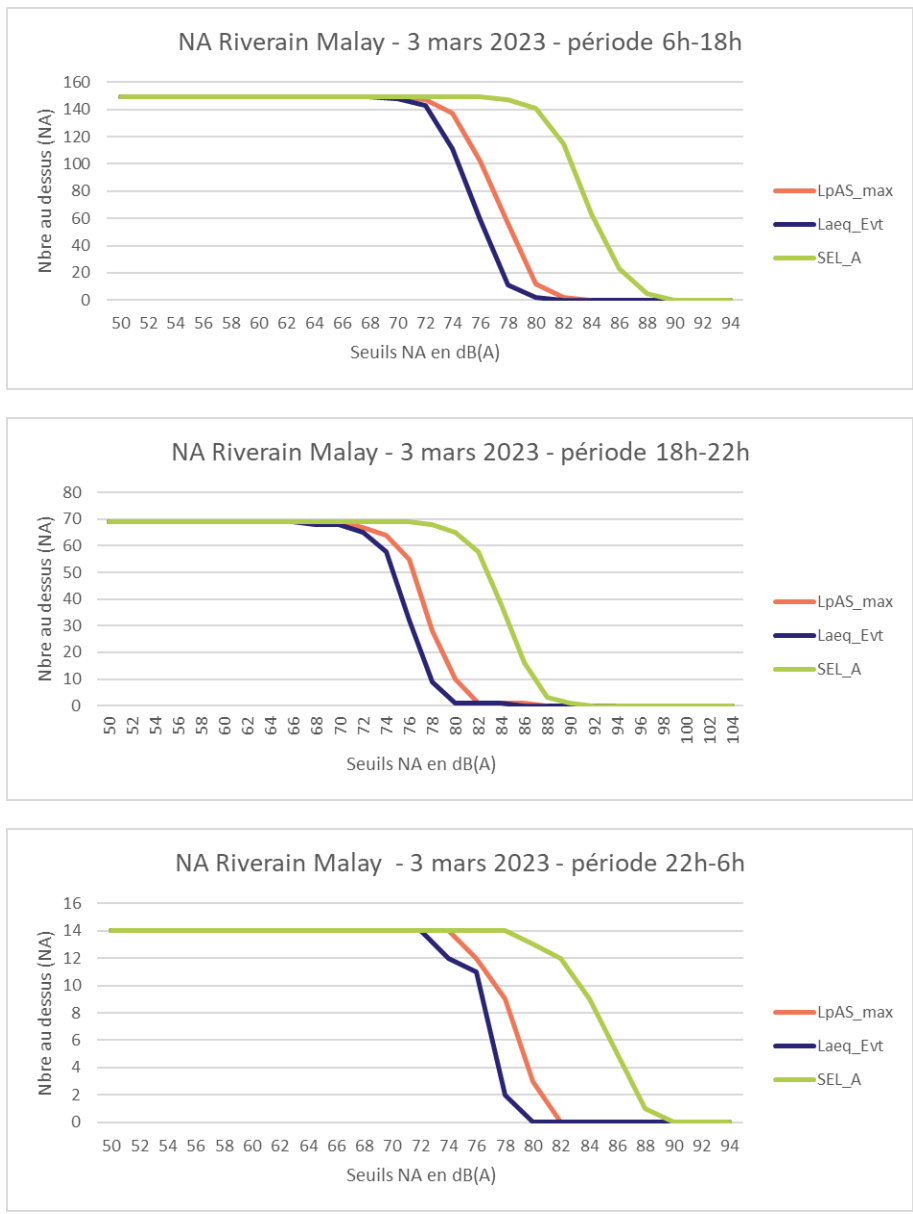


Figure 28: Exemple de représentation des NAX pour les trois indicateurs LASmax, LAeq,Tevt et SEL par pas de 2 dB(A). Site de Malay-le-Petit (LGV). Source : SNCF.

4.4.2. Indicateurs évalués en dB(C), lignes à grande vitesse

Un seul site (Malay-le-Petit) était concerné par l'évaluation des indicateurs NAX pour les indicateurs d'événements évalués en dB(C).

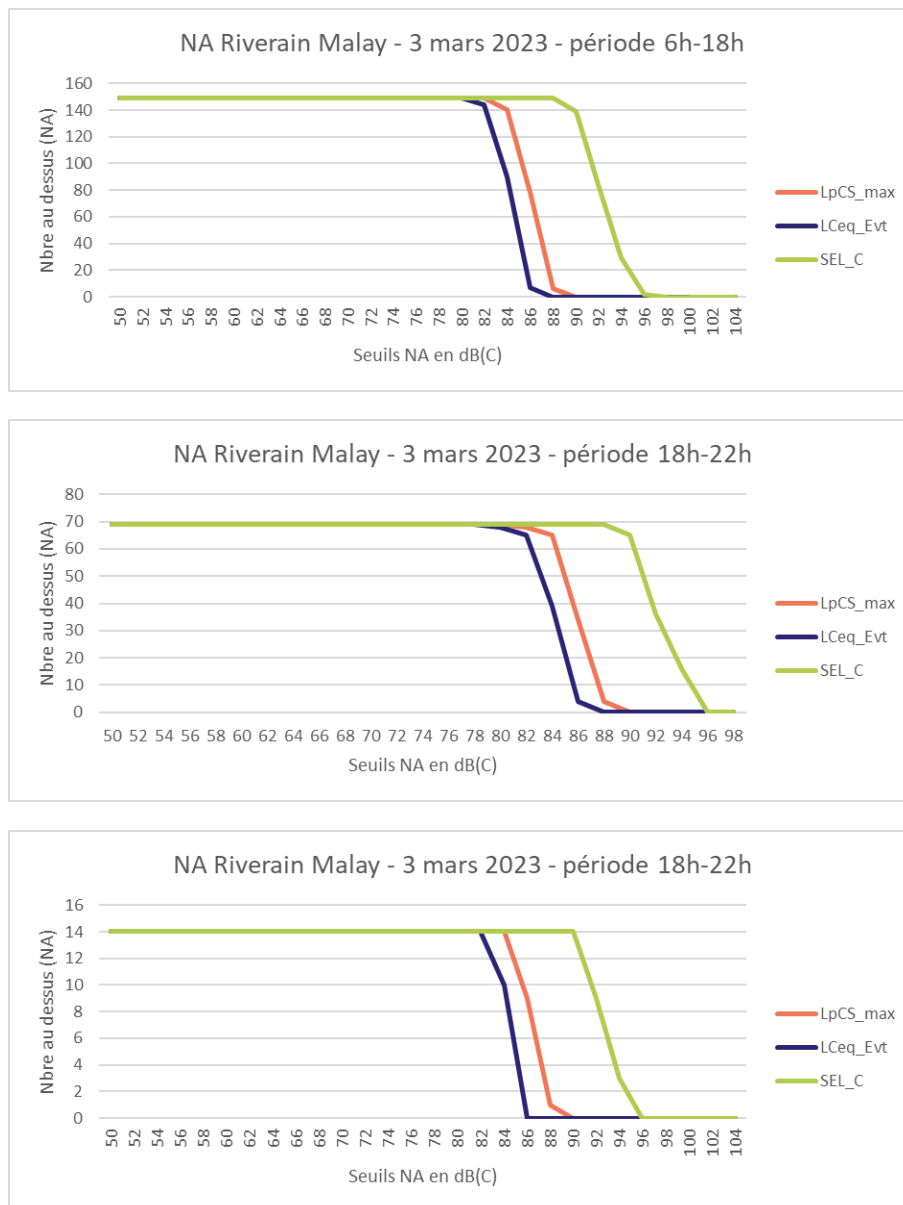


Figure 29: Indicateurs NAX évalués sur le site de Malay-le-Petit (LGV) chez un riverain pour les indicateurs LCSmax, LCEq, Tevt et SEL_C. Source : SNCF

4.4.3. Représentations alternatives des indicateurs

Dans un souci de lisibilité et compréhension, des représentations alternatives ont été proposées :

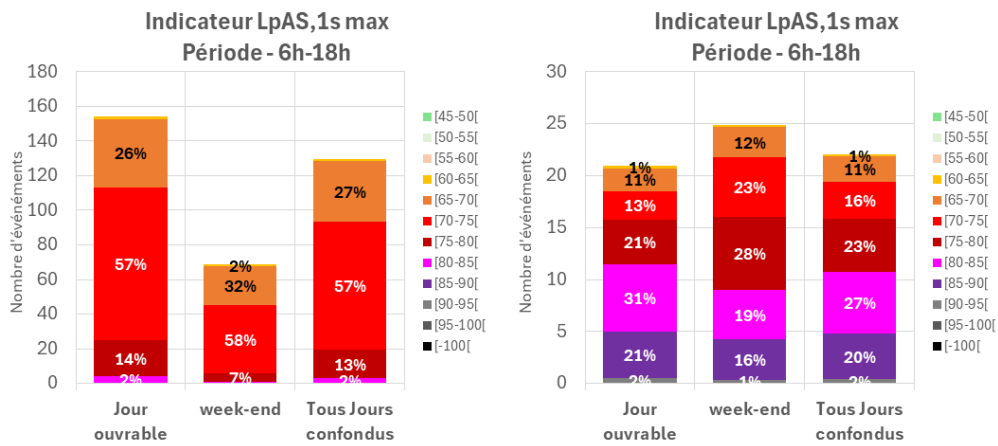
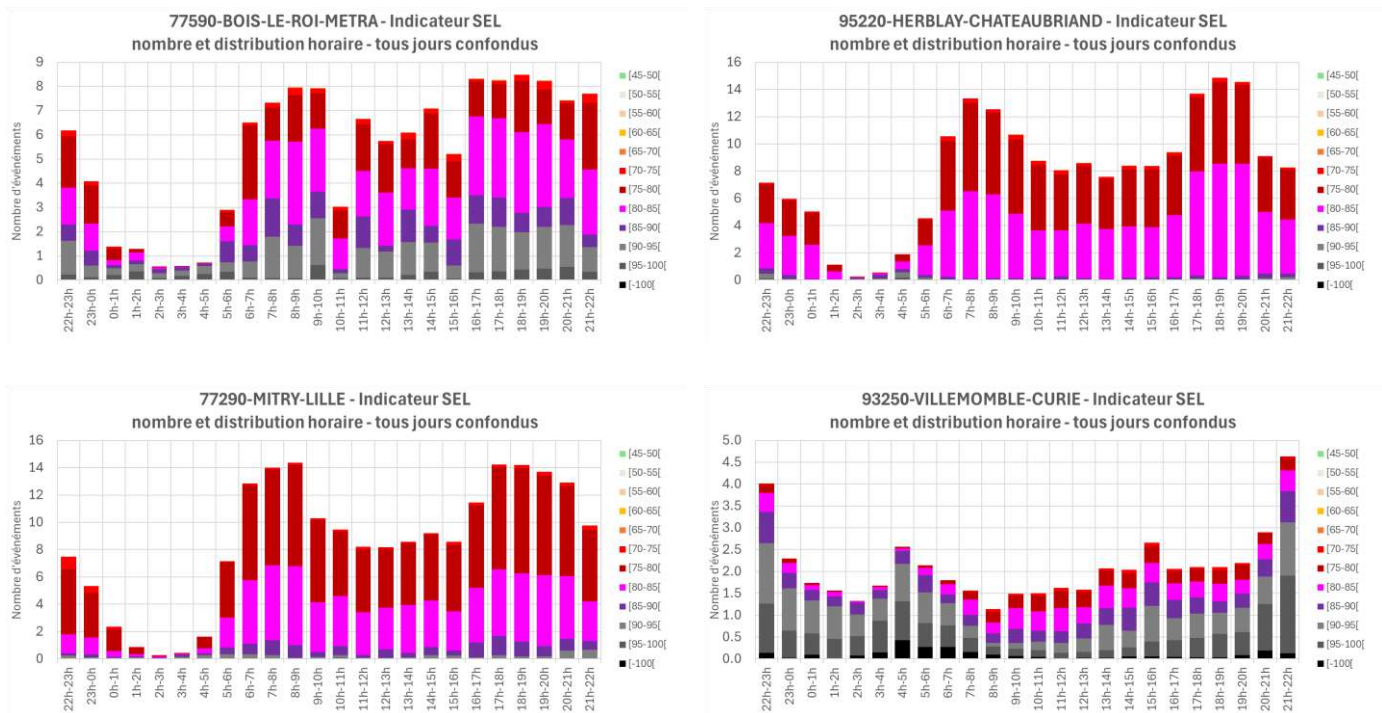


Figure 30: Représentation de la distribution du nombre d'événements par plages de 5 dB(A) pour l'indicateur LpAS, 1s max. Sites de Mitry (gauche) et Villemomble (droite). Source : Bruitparif.

A ce stade, les couleurs associées aux différentes plages de niveaux sont définies de manière arbitraire mais elles pourront faire l'objet d'une uniformisation ultérieure. Dans ce mode de représentation, l'indicateur présenté n'est pas strictement le NAX, nombre d'événements dépassant un certain seuil, mais la distribution du nombre d'événements par plages de l'indicateur d'événement (plage de 0,5 à 5 dB(A) dans les exemples Figure 30 à Figure 33).

Ces représentations, sont utilisées en standard pour le bruit aérien par Bruitparif, dans un souci de meilleure compréhension par les riverains et collectivités. Les plages pourraient éventuellement être réduites (à 2 ou 3 dB par exemple) pour affiner la représentation.

Exemples de représentations horaires :



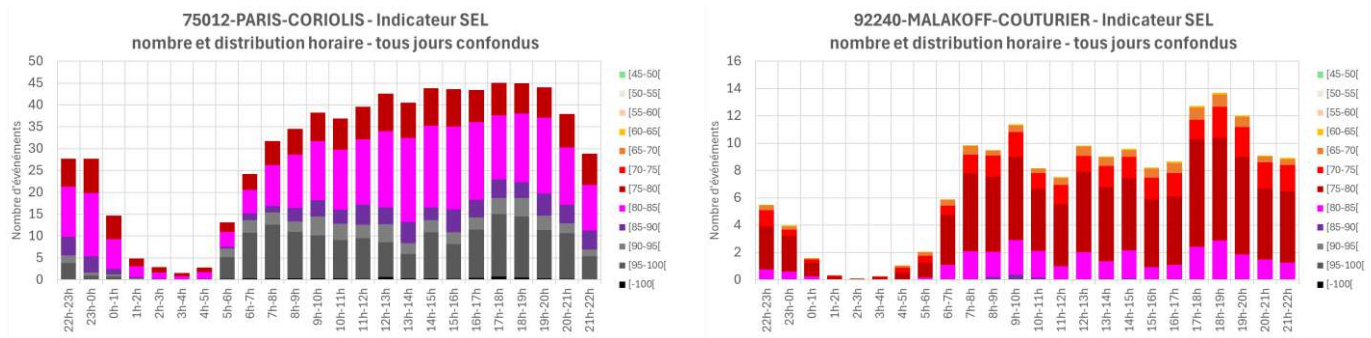


Figure 31: Exemples de représentation de la distribution du nombre d'événements par plages de 5 dB(A) selon l'indicateur SEL avec un pas horaire. Source : Bruitparif

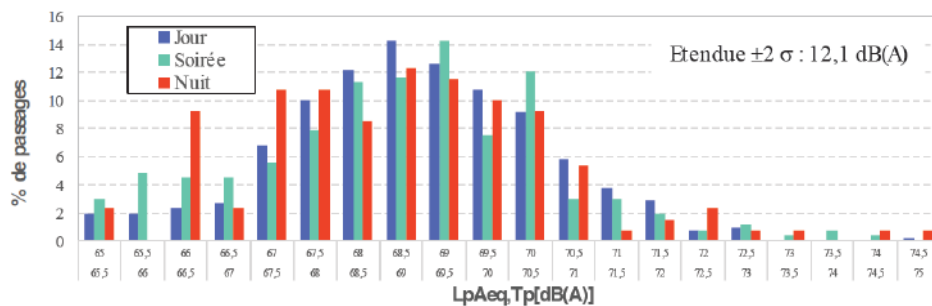


Figure 32: Représentation du nombre d'événements par classe de 0,5 dB(A), avec décomposition jour/soir/nuit. Site : Ligne T1 - Tramway Fer - Source RATP

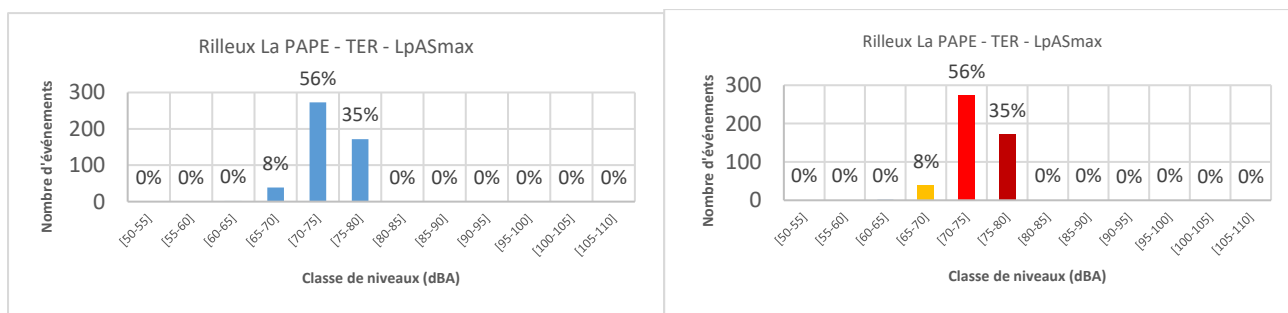


Figure 33: Représentation du nombre d'événements par classe de 5 dB(A). Variante avec échelle de couleurs à définir pour le graphique de droite. Site de Rilleux-La-Pape. Source : Acoucité

A noter que les décompositions jour ouvrable/week-end, ou horaires ne sont pas demandées dans l'arrêté. Elles sont présentées ici pour illustrer la variabilité temporelle des indicateurs.

On rappelle que les indicateurs agrégés doivent rendre compte d'une d'exposition moyenne journalière annuelle, et par périodes réglementaires (jour/nuit, jour/soir/nuit).

4.4.4. Discussion sur l'utilisation des dB(A)/dB(C) pour les LGV

Pour les LGV, lignes exclusivement parcourues par des TaGV à grande vitesse ($v > 250$ km/h), les indicateurs devaient également être évalués en dB(C).

Sur les deux sites LGV, sur lesquels les trains sont susceptibles de circuler à plus 300 km/h, seul le site de Malay-le-Petit a pu faire l'objet d'une exploitation des résultats par la SNCF.

Les mesures ont été réalisées à la fois en bord de voie et chez un riverain situé à environ 90 m de la plateforme. Le site était également équipé d'un dispositif de mesure des vitesses de circulation, ce qui a permis de mettre cette donnée en regard des mesures acoustiques.

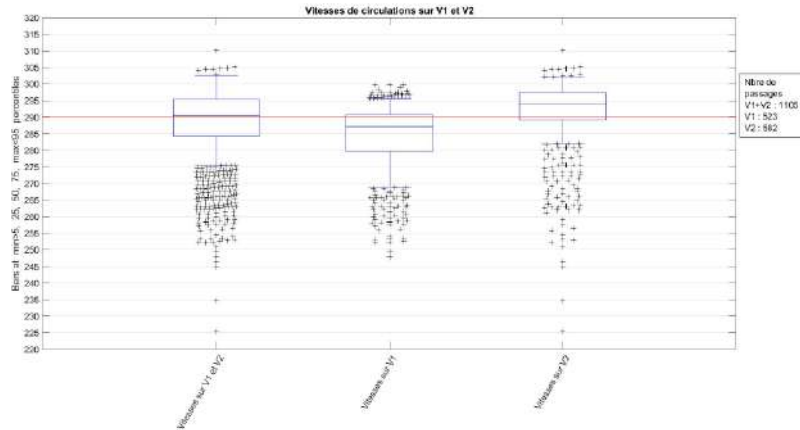


Figure 34: Mesures des vitesses sur les voies 1 et 2 sur le site de Malay-le-Petit. Source : SNCF

L'analyse de ces mesures de vitesse (Figure 34) révèle que les trains circulaient avec deux vitesses moyennes légèrement différentes sur les deux voies : 287 km/h sur V1 et 294 km/h sur V2.

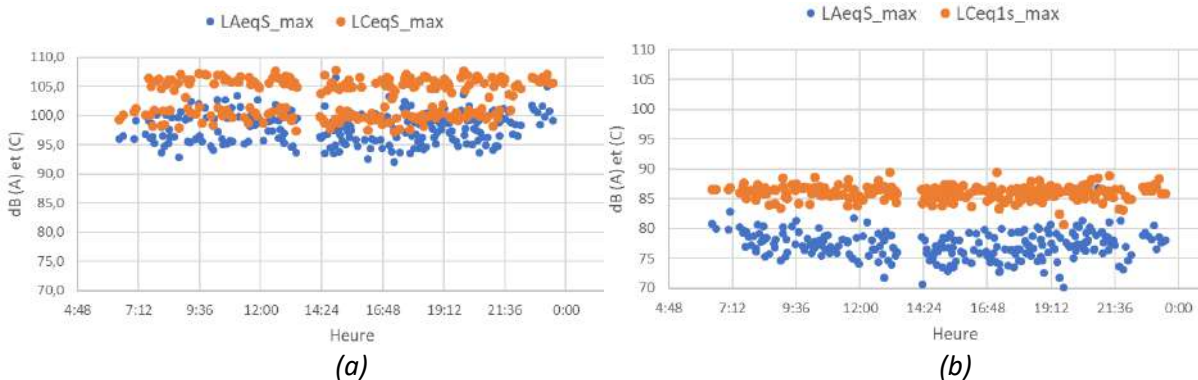


Figure 35: Événements sonores ferroviaires mesurés (a) en bordure de voie et (b) chez un riverain (90m). Comparaison des LpS_{max} évalués en dB(A) et dB(C). Source SNCF, ré-exploitation : Cerema.

En plus de la différence de vitesse moyenne entre les voies V1 et V2, la séparation des voies (env. 4,2m), explique probablement en grande partie la présence de deux groupes de points (en orange sur la Figure 35 (a)), pour le point situé à proximité des voies. Cette discrimination est particulièrement visible sur la représentation des niveaux d'événements par classe (Figure 38) pour la représentation en dB(C).

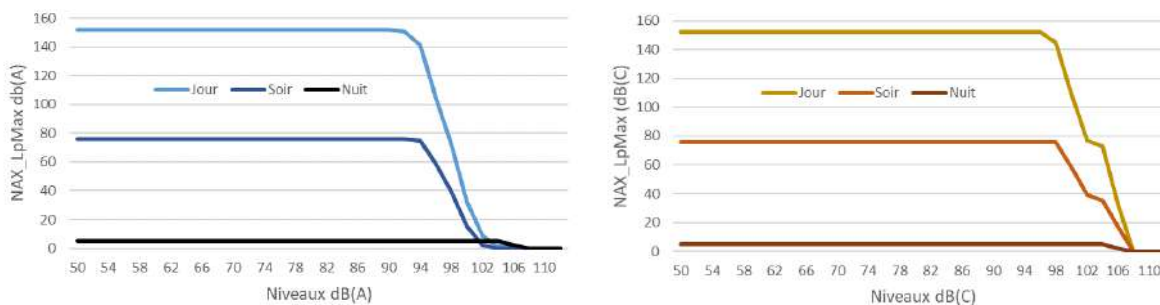


Figure 36: Point en bordure de voie. Comparaison des $NAX_{LpS_{max}}$ évalués pour les niveaux en dB(A) à gauche et en dB(C) à droite (Malay-le-Petit). Source SNCF, ré-exploitation : Cerema

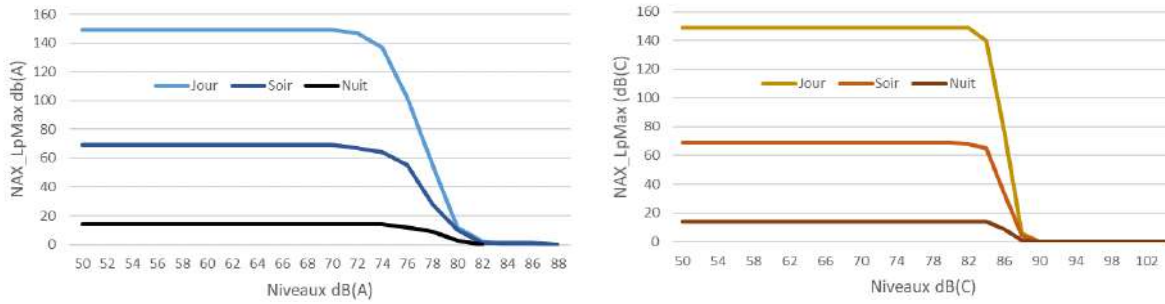


Figure 37: Point riverain. Comparaison des NAX_LpSmax évalués pour les niveaux en dB(A) à gauche et en dB(C) à droite (Malay-le-Petit)

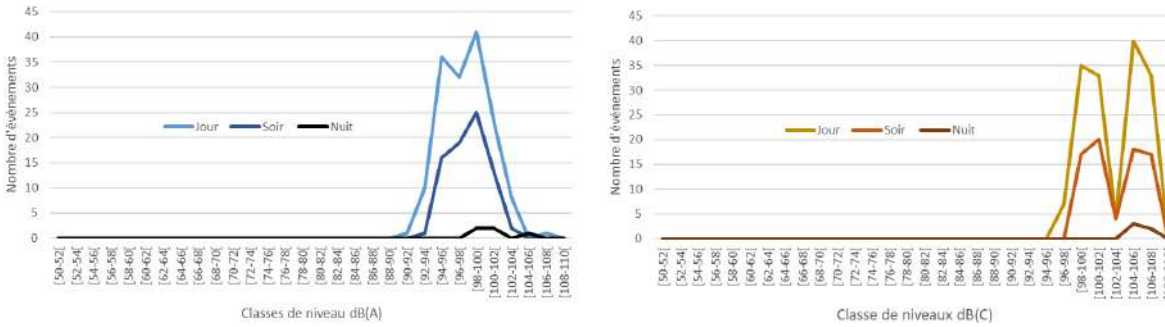


Figure 38: Point en bordure de voie. Comparaison des nombres d'événements par classe de LpSmax évalués pour les niveaux en dB(A) à gauche et en dB(C) à droite. (Malay-le-Petit, bordure de voie)

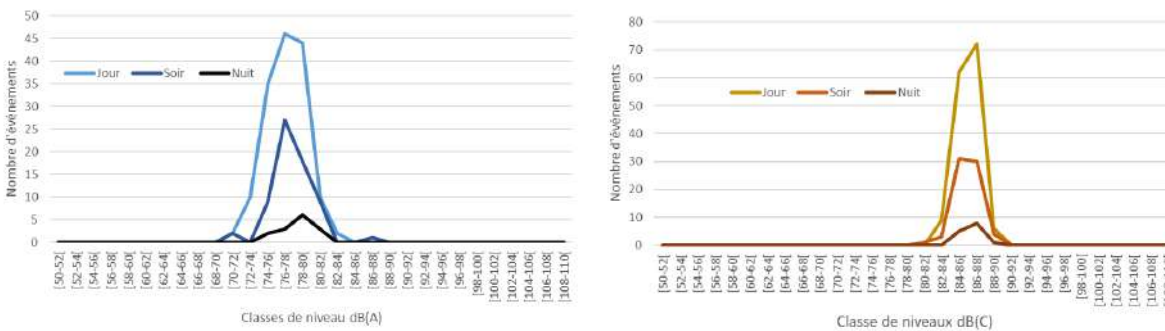


Figure 39: Point riverain. Comparaison des nombres d'événements par classe de LpSmax évalués pour les niveaux en dB(A) à gauche et en dB(C) à droite. (Malay-le-Petit)

L'écart moyen entre les niveaux max en dB(C) et dB(A) est de l'ordre de 5 dB en bordure de voie, alors qu'il est de près de 9 dB au point riverain.

De même, la baisse de niveau moyen entre le bord de voie et le riverain est de l'ordre de 21 dB(A) ou 18 dB(C). Soit environ 3 dB d'écart. Ce résultat pouvant être expliqué par une atténuation plus forte des moyennes et hautes fréquences avec l'éloignement.

La représentation en dB(C) conduit également à un resserrement de la distribution avec, dans cet exemple, une augmentation du nombre d'événements dans les classes centrales (entre 84 et 88 dB(C)).

4.4.5. Synthèse intermédiaire

- En tenant compte du nombre d'événements mesurés, les NAX enrichissent l'information agrégée fournie par les simples niveaux énergétiques de long terme. La dynamique globale du bruit moyen est ainsi mieux décrite pour tenir compte des « pics de bruit ».
- La représentation des résultats selon les NAX pourrait être améliorée. Une proposition serait d'associer le tableau de valeurs des NAX, en augmentant le pas de 2 à 5 dB, avec une représentation de la distribution des indicateurs d'événements plus facile à lire.
- En fonction de la dynamique mesurée pour les indicateurs d'événements, le pas pour la représentation de la distribution pourrait être adapté de 1 à 5 dB.
- L'utilisation d'indicateurs en dB(C), dans le cas des lignes à grande vitesse apporte une information complémentaire dans la description de la situation d'exposition en altérant moins l'information spectrale que

le dB(A). La contribution, large bande du bruit aérodynamique, pour des vitesses de circulations autour de 300 km/h, modifie significativement le spectre d'émission. On rappelle également que certaines études scientifiques mettent en évidence le rôle particulier joué par les basses fréquences dans la qualification de la gêne. Il paraît donc pertinent de conserver une information, la moins dégradée possible, dans l'optique d'amélioration des connaissances dans ce domaine.

4.5. Analyses spécifiques réalisées sur les indicateurs événementiels

4.5.1. Corrélations entre indicateurs

4.5.1.1. Sites instrumentés par Bruitparif :

Bruitparif a exploité une base de données de plus de 218 000 événements sonores sur les 6 sites confondus – cf. tableau 6).

Famille	Nombre total d'événements	Herblay	Bois-le-Roi	Mitry	Villemomble	Malakoff	Paris-Coriolis*
Transilien_AG	11 765	1 787	15	9 690	273	0	0
Fret_Travaux	9 103	537	2 043	1 075	5 448	0	0
TER_NG	4 092	273	2 436	1 285	98	0	0
Transilien_NG	27 117	17 726	7 394	1 698	299	0	0
Corail	4 641	40	4 567	11	23	0	0
TER_AG	180	0	180	0	0	0	0
TaGV	29 644	0	4	0	4	29 636	0
TOTAL circulations associées (ORE)	86 542	20 363	16 639	13 759	6 145	29 636	0
TOTAL tous événements ferroviaires	218 463	33 827	23 271	37 174	8 700	29 636	85 855

* : à Paris-Coriolis, aucun événement sonore n'a pu être associé à une circulation ORE

Tableau 7: Nombre d'événements par types de trains. Source : Bruitparif

Il ressort tout d'abord que les indicateurs LpASmax, LAeq1smax, LAeqTevt et SEL sont très fortement corrélés entre eux, avec des coefficients de corrélation tous supérieurs à 0,9 : R de 0,95 entre LAeq,1s,max et SEL,A, R de 0,98 entre LAmix et LAeq,evt, R de 0,96 entre SEL et LAeq,evt. La corrélation entre le LAeq,1s,max et le LpAS,1s,max (évalué par calcul à partir des LAeq,100ms) est par ailleurs quasiment égale à 1.

Une baisse du coefficient de corrélation est observée entre le LAmix (LpS ou Leq) et SEL, et dans une moindre mesure entre le LAmix et le LAeq,Tevt, pour certaines familles de trains :

- Pour les TaGV (mesurés essentiellement à Malakoff à proximité du Technicentre de Châtillon), le coefficient de corrélation entre le SEL et le LAeq1s,max est ainsi de 0,74 ;
- Pour les trains Fret (environ 9000 événements au total), le coefficient de corrélation entre le SEL et le LAeq1s,max est ainsi de 0,89. Cette diminution est due à la variabilité de la durée de l'événement qui est prise en compte dans le calcul du SEL, contrairement au LAeq,1s,max.

Le tableau ci-dessous indique les coefficients de corrélation sur l'ensemble du jeu de données :

- Toutes circulations : pour l'ensemble des événements détectés qu'ils soient associés ou non à une circulation ferroviaire « trafic ORE » ;
- Par famille de train, uniquement pour les événements ayant pu être associés à une circulation trafic ORE.

Toutes circulations prises en compte				
	LpASmax	LAeq 1s max	LAeq Tevt	SEL (LAE)
LpASmax	1,00	0.9985	0.9830	0.9569
LAeq 1s max	-	1,00	0.9775	0.9514
LAeq Tevt	-	-	1,00	0.9575
SEL (LAE)	-	-	-	1,00
Transilien_AG				
	LpASmax	LAeq 1s max	LAeq Tevt	SEL (LAE)
LpASmax	1,00	0.9923	0.9389	0.9329
LAeq 1s max	-	1,00	0.9176	0.9148
LAeq Tevt	-	-	1,00	0.9499
SEL (LAE)	-	-	-	1,00
Fret_Travaux				
	LpASmax	LAeq 1s max	LAeq Tevt	SEL (LAE)
LpASmax	1,00	0.9975	0.9416	0.9091
LAeq 1s max	-	1,00	0.9261	0.8916
LAeq Tevt	-	-	1,00	0.9701
SEL (LAE)	-	-	-	1,00
TER_NG				
	LpASmax	LAeq 1s max	LAeq Tevt	SEL (LAE)
LpASmax	1,00	0.9969	0.9611	0.9327
LAeq 1s max	-	1,00	0.9499	0.9204
LAeq Tevt	-	-	1,00	0.9704
SEL (LAE)	-	-	-	1,00
Transilien_NG				
	LpASmax	LAeq 1s max	LAeq Tevt	SEL (LAE)
LpASmax	1,00	0.9962	0.9517	0.9336
LAeq 1s max	-	1,00	0.9392	0.9328
LAeq Tevt	-	-	1,00	0.9173
SEL (LAE)	-	-	-	1,00
Corail				
	LpASmax	LAeq 1s max	LAeq Tevt	SEL (LAE)
LpASmax	1,00	0.9987	0.9760	0.9639
LAeq 1s max	-	1,00	0.9702	0.9557
LAeq Tevt	-	-	1,00	0.9857
SEL (LAE)	-	-	-	1,00
TER_AG				
	LpASmax	LAeq 1s max	LAeq Tevt	SEL (LAE)
LpASmax	1,00	0.9927	0.9353	0.8732
LAeq 1s max	-	1,00	0.9093	0.8469
LAeq Tevt	-	-	1,00	0.9200
SEL (LAE)	-	-	-	1,00
TaGV				
	LpASmax	LAeq 1s max	LAeq Tevt	SEL (LAE)
LpASmax	1,00	0.9940	0.9030	0.7676
LAeq 1s max	-	1,00	0.8843	0.7387
LAeq Tevt	-	-	1,00	0.7116
SEL (LAE)	-	-	-	1,00

Tableau 8: Matrices de corrélation (R). Source : Bruitparif

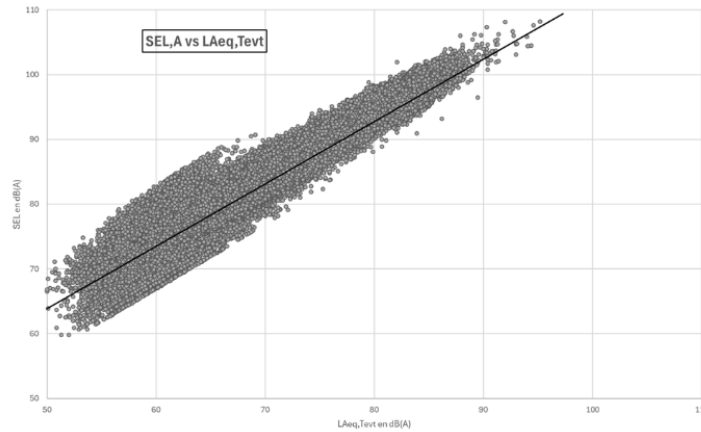


Figure 40 : Relations présentées pour l'ensemble des événements sonores ferroviaires des 6 sites Bruitparif de l'expérimentation Herlay, Bois-le-Roi, Villemomble, Paris-Coriolis, Malakoff et Mitry-Mory (environ 218 000 événements) – Source : Bruitparif

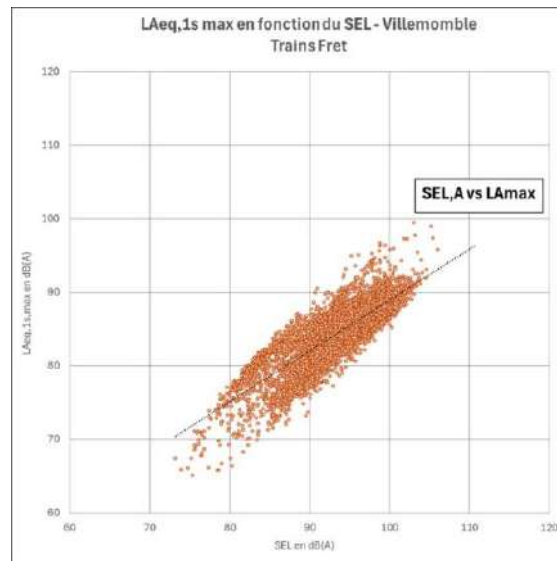


Figure 41: Corrélation LAeq,1s max et SEL pour le site de Villemomble (environ 5400 événements Fret). Source : Bruitparif

4.5.1.2. Sites instrumentés par Acouité :

Les corrélations entre indicateurs, ont été établies pour chacun des deux types de trains circulant au droit du point de Rillieux-La-Pape.

Les résultats de mesure montrent une forte corrélation entre les indicateurs événementiels, indépendamment de la période de mesure et du type de train. Le coefficient de corrélation R, par exemple pour la période de mars 2023, varie :

- Pour les TER, entre **0,86** (LAeq Tevt/LAeq 1s max) et **0,94** (SEL (LAE)/LpASmax)
- Pour les TaGV, entre **0,86** (SEL (LAE)/ LAeq Tevt) et **0,99** (LAeq 1s max/ LpASmax)

Matrice de corrélation TER – Rillieux-LA-Pape				
	LpASmax	LAeq 1s max	LAeq Tevt	SEL (LAE)
LpASmax	1,00	0,99	0,88	0,94
LAeq 1s max		1,00	0,86	0,92
LAeq Tevt			1,00	0,89
SEL (LAE)				1,00
Matrice de corrélation TaGV– Rillieux-LA-Pape				
	LpASmax	LAeq 1s max	LAeq Tevt	SEL (LAE)
LpASmax	1,00	0,99	0,92	0,92
LAeq 1s max		1,00	0,92	0,91
LAeq Tevt			1,00	0,86
SEL (LAE)				1,00

Tableau 9: Exemple de matrices de corrélation (R) pour la période de mars 2023 – Source : Acouité

4.5.1.3. Sites instrumentés par la SNCF :

Concernant le site du Teil, le nombre limité de circulations journalières (25 trains/j max.), et le nombre de trains effectivement codés (entre 15 et 17), les résultats de corrélation sont à considérer avec précaution, la représentativité statistique étant faible. Les résultats ci-dessous concernent les mesures réalisées en bord de voie et chez un riverain situé à environ 90 m des voies.

Pour le point situé en bord de voie les coefficients de corrélation R sont très élevés (>0,98) entre tous les indicateurs (les LAeq1s max n'ont pas été calculés mais sont par nature fortement corrélés aux LpASmax).

Pour le point de mesure « riverain », les corrélations entre LpASmax d'une part et SEL_A ou LAeq,Tevt d'autre part, diminuent sensiblement (0,87 à 0,89), en restant toutefois élevées. Ce résultat est à relié à l'augmentation du temps d'exposition avec l'éloignement entre le point de mesure et les voies ferrées.

Matrice de corrélation FRET – Le Teil (07) - Bord de voie				
	LpASmax	LAeq 1s max	LAeq Tevt	SEL (LAE)
LpASmax	1,00	-	0,99	0,99
LAeq 1s max		1,00	-	-
LAeq Tevt			1,00	0,99
SEL (LAE)				1,00
Matrice de corrélation FRET – Le Teil (07) - Riverain				
	LpASmax	LAeq 1s max	LAeq Tevt	SEL (LAE)
LpASmax	1,00	-	0,89	0,87
LAeq 1s max		1,00	-	-
LAeq Tevt			1,00	0,93
SEL (LAE)				1,00

Tableau 10: Matrices de corrélation (R) pour le site du Teil (trafic Fret) pour les points situés en bordure de voie et chez un riverain – Source : SNCF

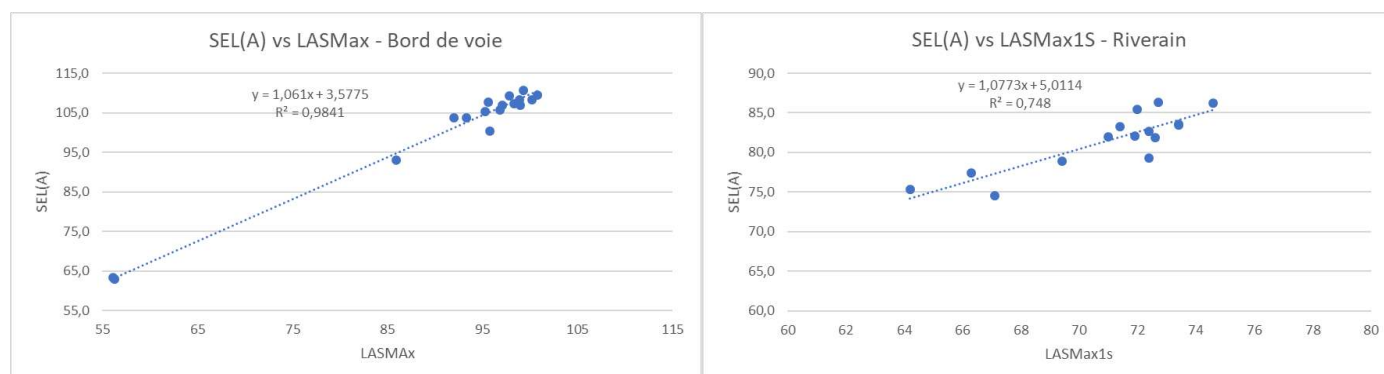


Figure 42: Exemples de corrélations LpASmax et SEL_A pour le site du Teil, en bord de voie et au niveau du riverain. Source : SNCF

Concernant le site de Malay-le-Petit, environ 230 passages ferroviaires ont pu être analysés en bordure de voie et chez le riverain. Comme pour le site du Teil, les corrélations avec le LAeq,1s,max n'ont pas été exploitées (corrélation forte avec LpASmax). De façon générale, les corrélations calculées entre les trois indicateurs LpSmax, Leq Tevt et SEL, sont élevées (R>0,93). Des corrélations légèrement plus faibles (jusqu'à R=0,85) sont observées entre le SEL et les autres indicateurs et peuvent être attribuées aux différences de niveaux constatées liées à la séparation des voies, avec pour résultat, deux nuages de points identifiables (voir Figure 43 et Figure 44 et discussion au §4.4.4).

Matrice de corrélation LGV – Malay-le-Petit (89) - Bord de voie				
	LpASmax	LAeq 1s max	LAeq Tevt	SEL (LAE)
LpASmax	1,00	-	0,95	0,93
LAeq 1s max		1,00	-	-
LAeq Tevt			1,00	0,85
SEL (LAE)				1,00
Matrice de corrélation LGV – Malay-le-Petit (89) - Riverain				
	LpASmax	LAeq 1s max	LAeq Tevt	SEL (LAE)
LpASmax	1,00	-	0,98	0,93
LAeq 1s max		1,00	-	-
LAeq Tevt			1,00	0,93
SEL (LAE)				1,00

Tableau 11: Matrices de corrélation (R) des indicateurs mesurés en dB(A) pour le site de Malay-le-Petit (trafic TaGV) pour les points situés en bordure de voie et chez un riverain – Source : SNCF

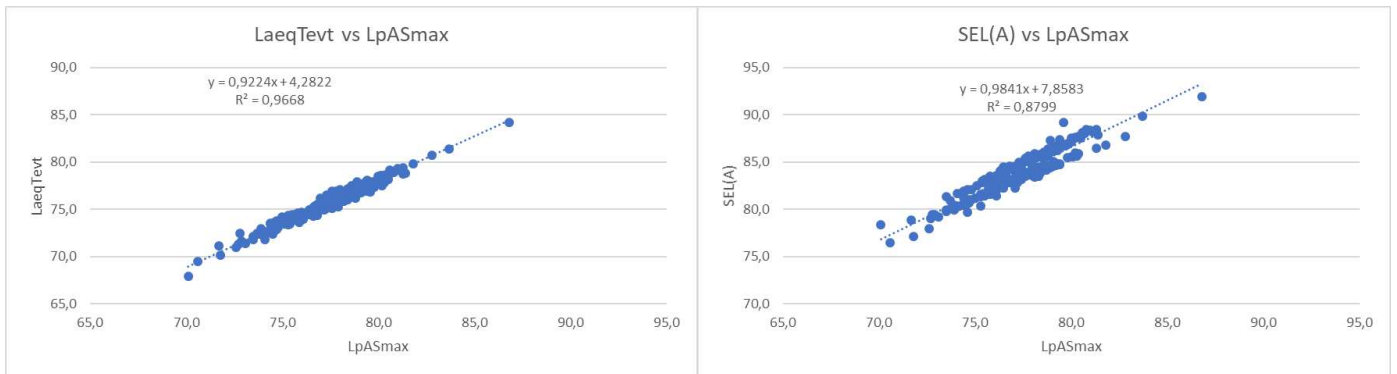


Figure 43: Exemples de corrélations LpASmax, LAeqTevt et SEL_A pour le site de Malay-le-Petit (trafic TaGV) – Point « riverain » Source : SNCF

Matrice de corrélation LGV – Malay-le-Petit (89) - Bord de voie				
	LpCSmax	LCeq 1s max	LCeq Tevt	SEL_C (LCE)
LpCSmax	1,00	-	0,98	0,95
LCeq 1s max		1,00	-	-
LCeq Tevt			1,00	0,89
SEL_C (LCE)				1,00
Matrice de corrélation LGV – Malay-le-Petit (89) - Riverain				
	LpCSmax	LCeq 1s max	LCeq Tevt	SEL_C (LCE)
LpCSmax	1,00	-	0,95	0,87
LCeq 1s max		1,00	-	-
LCeq Tevt			1,00	0,86
SEL_C (LCE)				1,00

Tableau 12: Matrices de corrélation (R) des indicateurs mesurés en dB(C) pour le site de Malay le Petit (trafic TaGV) pour les points situés en bordure de voie et chez un riverain – Source : SNCF

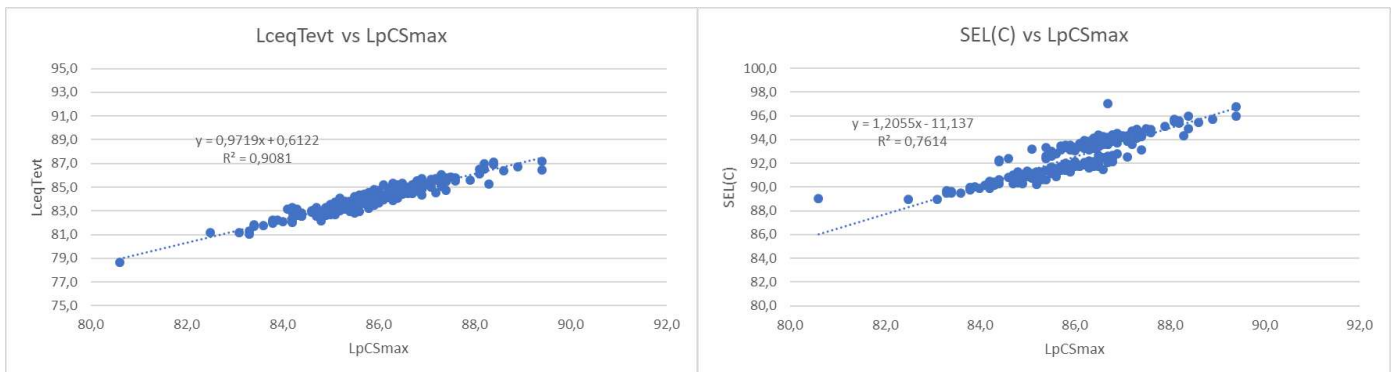


Figure 44: Exemples de corrélations LpCSmax, LCeqTevt et SEL_C pour le site de Malay-le-Petit – Point « riverain » (trafic TaGV). Source : SNCF

4.5.1.4. Sites instrumentés par la RATP :

Les corrélations établies par la RATP sont comprises entre 0,82 (L_{Aeq,Tevt}/ L_{pASmax} – Métro ou tramway pneus) et 0,97 (L_{Aeq,Tevt}/ L_{pASmax} – Tramway fer)⁹. La plus faible corrélation pour les matériels pneumatiques est due au masquage des sources trains par les sources routières (beaucoup de passages pour le site de Paris (métros) et peu de niveaux pour le site de Sarcelles (tramway)).

Matrice de corrélation Ligne n°6 - Métro Pneus				
	LpASmax	L _{Aeq} 1s max	L _{Aeq} Tevt	SEL (LAE)
LpASmax	1,00	ND	0,82	ND
L _{Aeq} 1s max		1,00	0,84	ND
L _{Aeq} Tevt			1,00	0,94
SEL (LAE)				1,00
Matrice de corrélation Ligne T1 - Tramway Fer				
	LpASmax	L _{Aeq} 1s max	L _{Aeq} Tevt	SEL (LAE)
LpASmax	1,00	ND	0,97	ND
L _{Aeq} 1s max		1,00	0,95	ND
L _{Aeq} Tevt			1,00	0,97
SEL (LAE)				1,00
Matrice de corrélation RER A - Contact Fer				
	LpASmax	L _{Aeq} 1s max	L _{Aeq} Tevt	SEL (LAE)
LpASmax	1,00	ND	0,84	ND
L _{Aeq} 1s max		1,00	0,92	ND
L _{Aeq} Tevt			1,00	0,95
SEL (LAE)				1,00
Matrice de corrélation Ligne n°8 - Métro Fer				
	LpASmax	L _{Aeq} 1s max	L _{Aeq} Tevt	SEL (LAE)
LpASmax	1,00	ND	0,97	ND
L _{Aeq} 1s max		1,00	0,97	ND
L _{Aeq} Tevt			1,00	0,89
SEL (LAE)				1,00
Matrice de corrélation Ligne T5 – Tramway pneu				
	LpASmax	L _{Aeq} 1s max	L _{Aeq} Tevt	SEL (LAE)
LpASmax	1,00	ND	0,83	ND
L _{Aeq} 1s max		1,00	0,87	ND
L _{Aeq} Tevt			1,00	0,95
SEL (LAE)				1,00

Tableau 13: Matrices de corrélation (R) entre indicateurs pour les 5 sites de la RATP (ND : Non Déterminé)

4.5.1.5. Conclusion sur les corrélations entre indicateurs

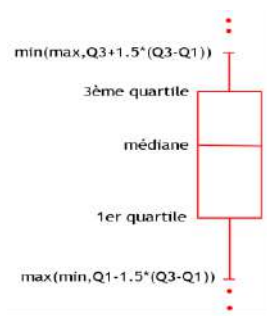
- Corrélations globalement élevées entre les indicateurs ;
- Les corrélations les plus faibles (R autour de 0,8) sont celles établies entre le SEL (LAE) et le L_{Amax}. Ce résultat s'explique par la construction même de ces indicateurs et notamment le fait que le SEL prend en compte la durée de l'événement, ce que ne fait pas le L_{Amax}.
- Compte tenu de ces résultats, il paraît envisageable de réduire le nombre d'indicateurs évalués.

4.5.2. Distributions des événements (dispersion, boîtes à moustache par type de train...)

Pour l'ensemble des sites instrumentés, supportant des typologies de matériel roulant très diverses, une dispersion des indicateurs événementiels a été constatée.

La représentation de type Boxplot ou « boîte à moustaches » a été utilisée pour représenter la répartition des résultats.

⁹ A noter que les coefficients de corrélation entre L_{pASmax} (ou L_{Aeq1smax}) et SEL n'ont pas été déterminés par la RATP.



- La valeur centrale du graphique est la médiane (il existe autant de valeurs supérieures qu'inférieures à cette valeur dans l'échantillon).
- Les bords du rectangle sont les quartiles (Pour le bord inférieur, un quart des observations ont des valeurs plus petites et trois quart ont des valeurs plus grandes, le bord supérieur suit le même raisonnement).
- Les extrémités des moustaches sont calculées en utilisant 1.5 fois l'espace interquartile (la distance entre le 1er et le 3ème quartile).

50% des observations se trouvent à l'intérieur de la boîte.
Les valeurs à l'extérieur des moustaches sont représentées par des points.

Seul un échantillonnage des résultats est présenté ci-après. L'ensemble des résultats détaillés est fourni en Annexe 1.

○ **Sites instrumentés par Bruitparif :**

- A Herblay (95) : dispersion de 3 à 5 dB(A) des indicateurs pour 50% des événements et environ 10 à 20 dB(A) de dispersion entre les valeurs minimale et maximale, la dispersion la plus grande étant observée sur les trains Fret.
- A Bois le Roi (77) : dispersion de 3 à 10 dB(A) des indicateurs pour 50% des événements et environ 20 à 30 dB(A) de dispersion entre les valeurs minimale et maximale, la dispersion la plus grande étant observée sur les trains Fret.
- A Villemomble (93) : dispersion de 5 à 8 dB(A) des indicateurs pour 50% des événements et environ 12 à 25 dB(A) de dispersion entre les valeurs minimale et maximale, la dispersion la plus grande étant observée sur les trains Fret qui représentent la majeure partie du trafic.

Étant donnée la corrélation forte entre les différents indicateurs, la dispersion des valeurs est relativement similaire pour chaque indicateur (L_{Amax}, SEL et L_{Aeq,evt}).

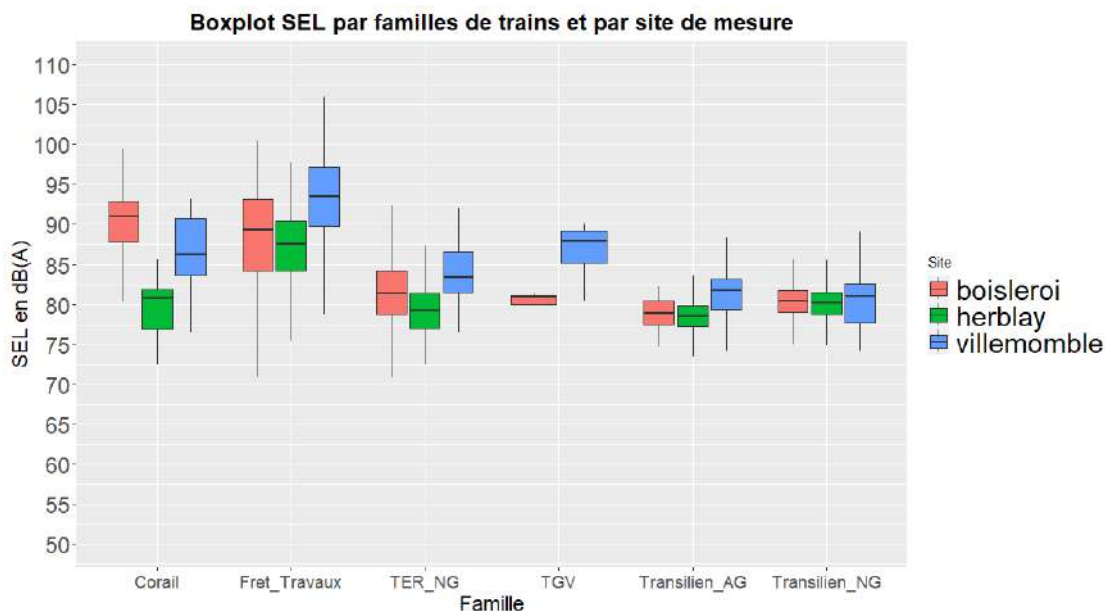


Figure 45: Boxplot pour l'indicateur SEL par familles de trains pour trois sites de mesure : Bois-Le-Roi, Herblay et Villemomble.
Source : Bruitparif

L'absence de données sur les vitesses réelles, l'identification des rames et la rugosité du rail et des roues ne permet pas à ce stade d'attribuer un facteur explicatif définitif à ces résultats.

Pour un même site, les trains Corail et les trains Fret présentent des niveaux sonores supérieurs aux trains Transilien/RER.

○ **Site instrumenté par Acoucité :**

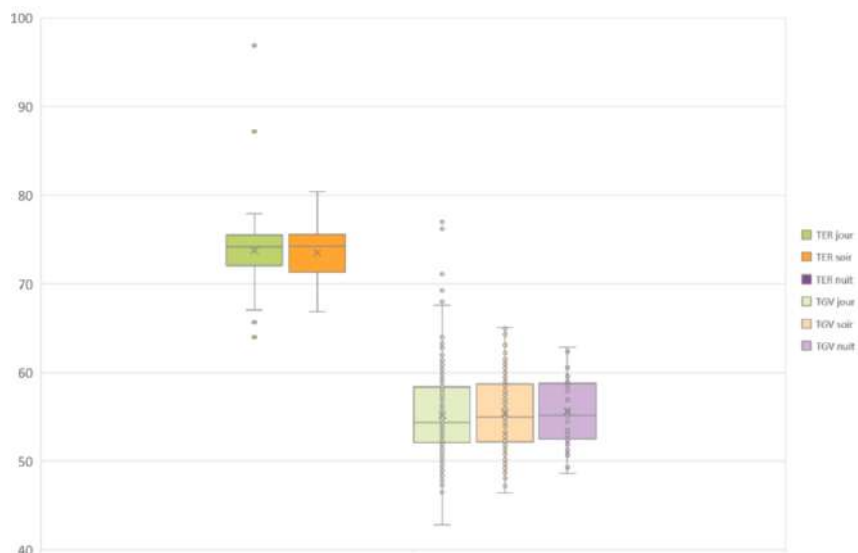


Figure 46: LpASmax par type de train et par période mesurés sur le site de Rillieux-La-Pape - Tous jours confondus. Source : Acoucité

Pour mémoire, le site comporte une ligne TER et une ligne TaGV.

- Pour les TER : dispersion de 3 à 4 dB(A) pour 50% des observations.
- Pour les TaGV : dispersion de 6 à 7 dB(A) pour 50% des observations.

L'absence de données sur les vitesses réelles, l'identification des rames et la rugosité du rail et des roues ne permet pas à ce stade d'attribuer un facteur explicatif définitif à ces résultats.

Comme pour les sites instrumentés par Bruitparif, les dispersions observées pour les autres indicateurs (LAeq1smax, LAeq,Tevt, SEL) sont très comparables, du fait de la forte corrélation entre indicateurs.

○ **Sites instrumentés par la SNCF :**

Le dispositif de mesure déployé par la SNCF a permis de mesurer à la fois les indicateurs acoustiques événementiels, mais également les vitesses de circulation de chaque rame. Les dispersions de ces données ont donc pu être mises en regard.

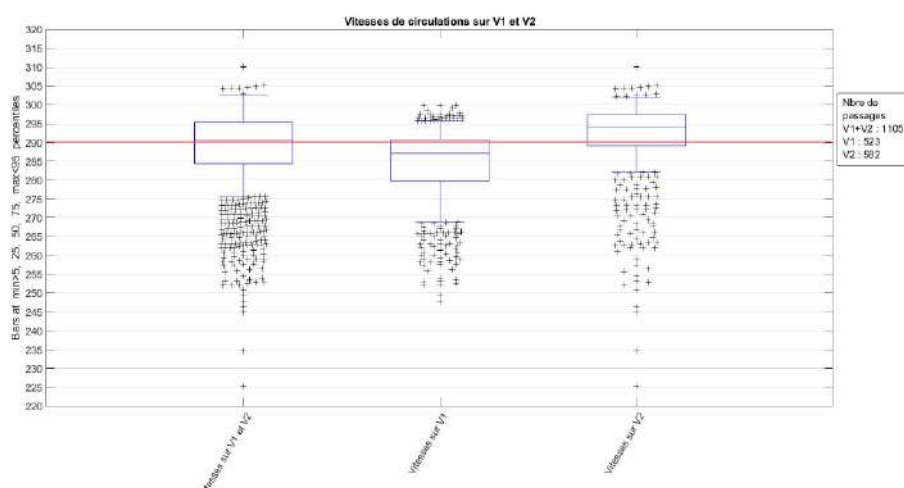


Figure 47: Boxplot des vitesses de circulations mesurées sur les deux voies (V1 et V2) du site de Malay-le-Petit. Source : SNCF

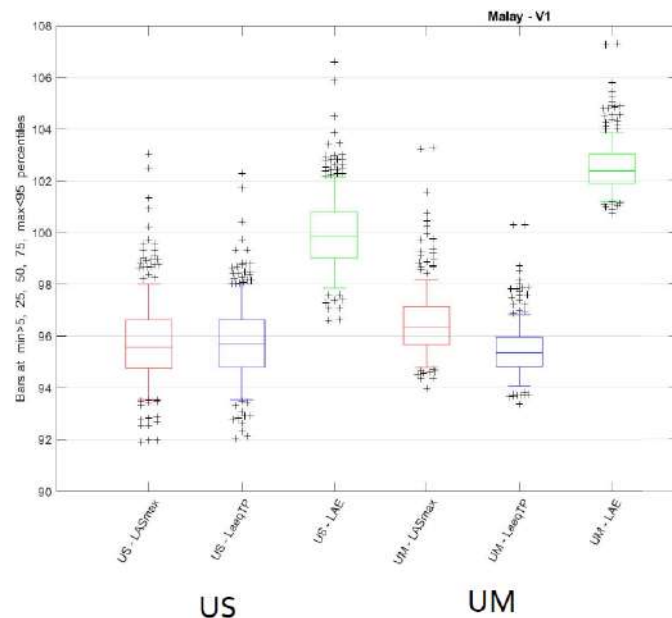


Figure 48: Boxplot des indicateurs acoustiques événementiels mesurés en bordure, avec le dispositif "Boite Noire" de la voie 1 sur le site de Malay-le-Petit. Distinction des Unités Simples (259 trains) et des Unités Multiples (doubles) (183).

Comme pour les sites instrumentés par Bruitparif et Acoucité, les dispersions constatées entre indicateurs (LASmax, LAeqTevt, SEL (LAE) sont du même ordre de grandeur.

On note que **50% des valeurs** se situent dans un intervalle de dispersion d'environ **2 dB(A)**. Un nombre significatif d'observations se situent à l'extérieur des limites de la Boxplot et semblent pouvoir être expliquées par les différences de vitesses constatées (voir Figure 47).

Une comparaison des résultats entre les mesures réalisées en bord de voie et chez le riverain a également été réalisée (Figure 49).

Les dispersions constatées sont sensiblement supérieures (3 à 4 dB(A)) à celles obtenues lorsqu'une seule voie est considérée.

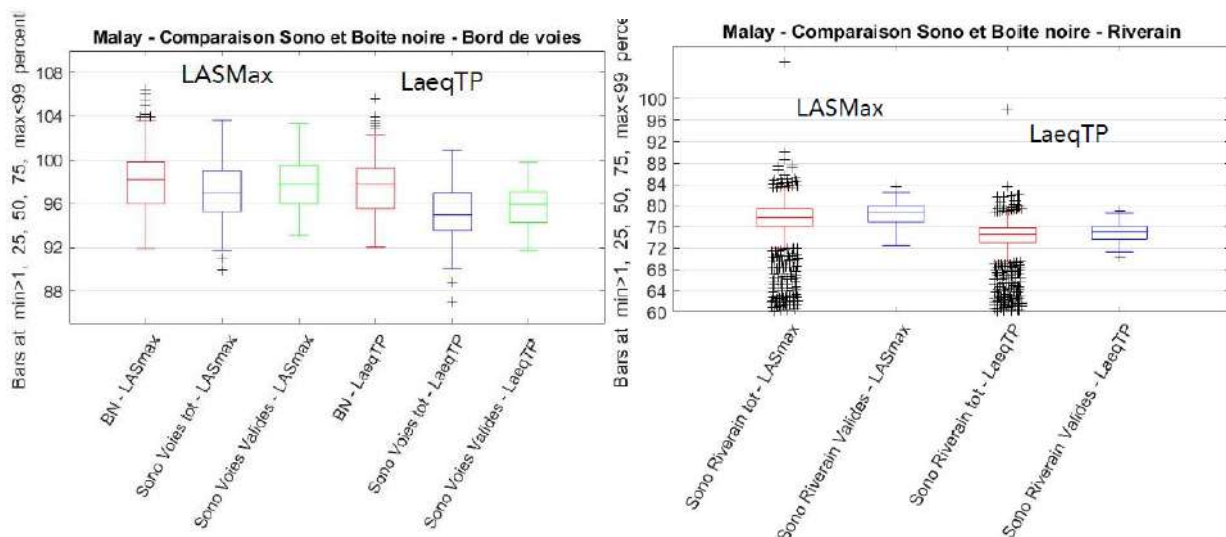


Figure 49: Boxplot des mesures réalisées à l'aide des deux dispositifs acoustiques (sonomètre et Boite Noire) en bord de voies et chez le riverain.

Remarques :

- Pour le site de Montmeyran, le signal étant très perturbé pour les jauges de contraintes (importantes variations de température pendant la période de mesurage), seuls 80 passages de trains ont pu être détectés avec analyse de la vitesse etc. Les conditions de vents ont perturbé les triggers de déclenchement des mesures acoustiques et le dépouillement automatisé n'a pas été possible que pour les 80 passages précités.
- Pour Le Teil, toutes les acquisitions ont été dépouillées pour la semaine de mesures mais le trafic des circulations FRET ne dépasse pas environ une dizaine de train par jour ou nuit.

Les analyses statistiques n'ont finalement pas été réalisées pour ces deux sites.

○ **Sites instrumentés par la RATP :**

Il apparaît :

- Ligne n°6 - Métro Pneus : dispersion de 2 à 3 dB(A) pour 50% des observations.
- Ligne T1 - Tramway Fer : dispersion de 2 à 3 dB(A) pour 50% des observations.
- RER A - Contact Fer : dispersion de l'ordre de 5 dB(A) pour 50% des observations liée à plusieurs signatures sonores.
- T5 - Tramway pneumatique : dispersion de 4 à 5 dB(A) pour 50% des observations. Ces valeurs peuvent être associées à la difficulté de discrimination des événements ferroviaires dans le bruit routier.
- Ligne n°8 – Métro Fer : dispersion de l'ordre 5 dB(A) pour 50% des observations.

Comme pour les autres sites, les dispersions constatées entre indicateurs sont du même ordre de grandeur.

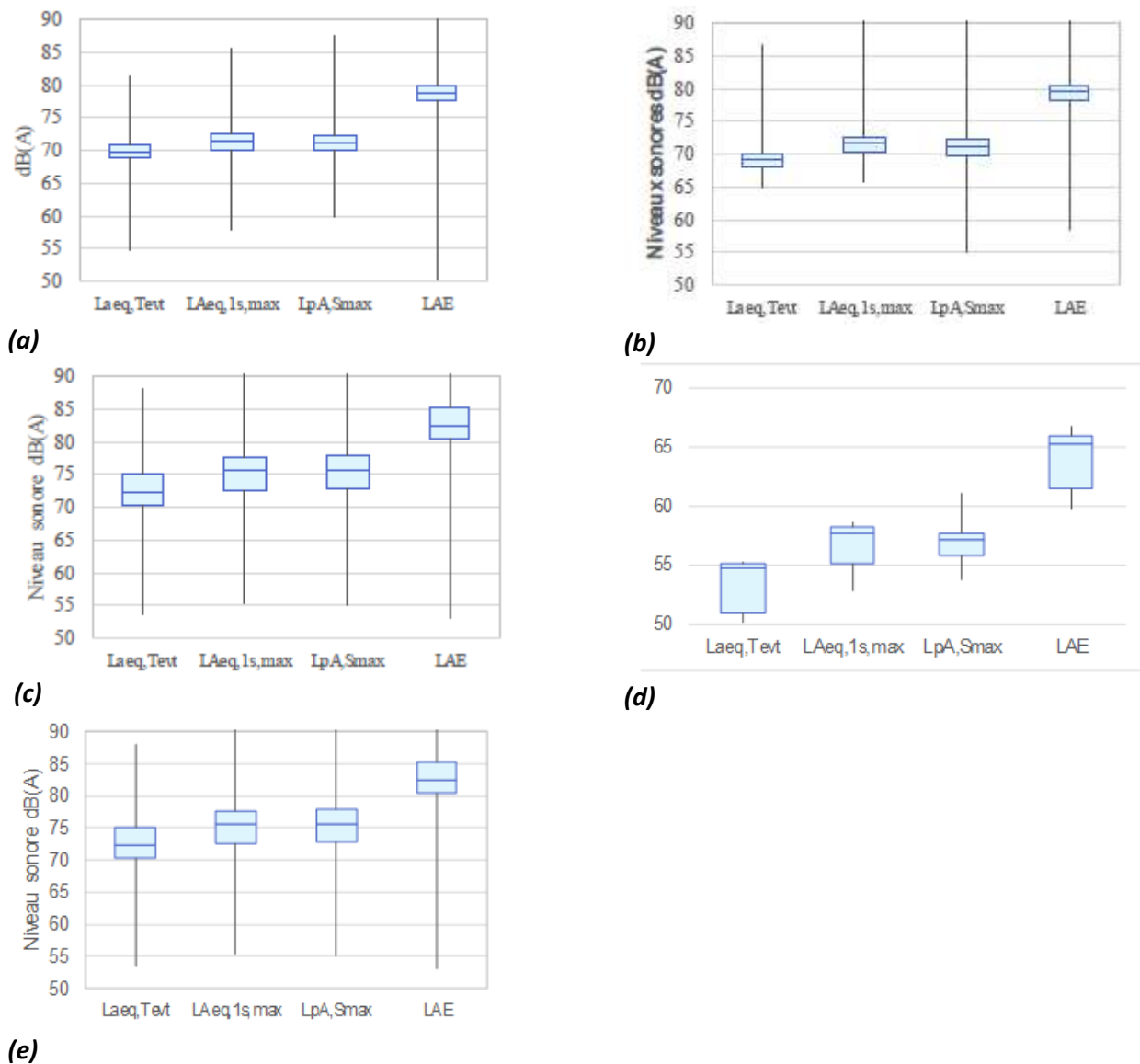


Figure 50: Boxplot des indicateurs acoustiques événementiels mesurés sur les sites RATP. (a) Ligne n°6 - Métro Pneus, (b) Ligne T1 - Tramway Fer, (c) RER A - Contact Fer, (d) T5 - Tramway pneumatique manquant, (e) Ligne n°8 – Métro Fer

4.6. Calcul d'indicateurs complémentaires

L'arrêté expérimental du 29 septembre 2022 laissait la possibilité aux gestionnaires d'infrastructures de calculer « ...tout autre indicateur, notamment à points, permettant de mieux caractériser le phénomène de soudaineté et de répétitivité du bruit généré par les infrastructures de transport ferroviaire, et permettant d'en faciliter la lecture pour le grand public. »

- **Projet de Compteur à points proposé par Bruitparif**

Bruitparif a proposé d'expérimenter le principe d'un compteur d'événements sonores à points (Noise Point Counter ou NPC), qui s'inspirerait des indicateurs de type NAX, mais permettrait de s'affranchir des inconvénients de ceux-ci en prenant en compte la totalité des événements sonores ferroviaires. L'idée serait de réaliser un décompte de tous les pics de bruit générés par les circulations ferroviaires (suppression ainsi de l'effet de seuil des indicateurs de type NAX), en pondérant chaque pic en fonction de sa bruyance. Les points affectés aux différents événements pourraient ensuite être sommés arithmétiquement (ce qui est simple à comprendre) sur chaque période d'intérêt considérée (par exemple : jour/soirée/nuit) pour obtenir une valeur du compteur par période. Enfin, un compteur agrégé pourrait être calculé en utilisant un jeu de pondérations pour tenir compte des différences de sensibilité au bruit selon les périodes.

La mise au point d'un tel indicateur nécessite essentiellement de lever deux verrous scientifiques :

- D'une part, la détermination de la règle de calcul du nombre de points (NP) à affecter à un événement sonore, afin de traduire au mieux la variabilité de la gêne instantanée associée à sa bruyance. Les travaux de psychoacoustique qui se sont intéressés à la perception suggèrent qu'il faut un écart entre deux sons compris entre 6 et 10 dB – selon les publications scientifiques – pour avoir une impression de bruyance multipliée par deux (son perçu à l'oreille deux fois plus fort). Une étude s'inspirant du protocole mis en œuvre dans l'étude de faisabilité GENIFER¹⁰, mais menée sur un plus grand nombre de sites et impliquant davantage de riverains, permettrait de valider le principe de calcul du NP selon cette règle physiologique et de l'ajuster au moyen des données de gêne instantanée recueillies auprès des participants à l'étude. L'étude GENIFER, qui a porté sur un seul site et 71 riverains, a suggéré que les descripteurs acoustiques $L_{eq,evt}$, SEL, L_{max} seraient davantage corrélés aux notes de gêne instantanée que les autres variables (caractéristiques des circulations, T_{evt} , variables de sensibilité individuelle) testées. Elle confirme que ces trois descripteurs sont très corrélés entre eux par ailleurs. Les corrélations avec la gêne instantanée trouvées dans l'étude GENIFER s'établissent à 0,42 pour le SEL_A et le $L_{Aeq,evt}$ et à 0,4 pour le L_{Amax} . Les analyses se poursuivent en mettant en œuvre des techniques d'analyse avancées (modèles mixtes) sur la base de données expertisées (4300 notes de gêne associées aux caractéristiques des circulations ferroviaires) constituée dans le cadre de l'étude GENIFER, notamment pour identifier si des courbes dose-réponse pourraient être construites entre la gêne instantanée et les descripteurs SEL, L_{Amax} ou $L_{Aeq,T_{evt}}$. Il conviendrait dans tous les cas d'étendre la méthode à d'autres cas d'études et à plus grand nombre d'individus.
- D'autre part, la détermination des coefficients de pondération à utiliser pour tenir compte des différences de sensibilité au bruit ferroviaire en fonction notamment des périodes de la journée. Cela est nécessaire afin de traduire au mieux la variabilité de la gêne ressentie par les riverains en fonction de la période d'apparition du bruit ferroviaire. Pour déterminer ces coefficients de pondération, une étude visant à explorer la variabilité de la gêne de moyen terme en fonction des périodes, des types de jour et du mode d'activité des participants serait à concevoir.

Dans le cadre de la phase 1 de l'expérimentation d'indicateurs événementiels de bruit ferroviaire, Bruitparif a calculé un compteur NPC par période jour, soir, nuit, et par période de 24h sans prendre en compte à ce stade de coefficient de pondération lié à la période.

La valeur NPC, période a été calculée par sommation arithmétique des valeurs de NP calculé pour chaque circulation ferroviaire sur la période considérée, à l'aide de la formule NP suivante : $NP = 2^{(SEL-SEL,ref)/X}$ avec $SEL,ref = 65$ dB(A) et $X = 10$ à ce stade.

Les résultats détaillés sont fournis dans les fiches de mesure de Bruitparif en annexe.

¹⁰ <https://www.bruitparif.fr/le-projet-genifer/>

Le tableau suivant fournit les résultats comparatifs des résultats obtenus sur 24h entre l'indicateur LAeq,24h, les valeurs des indicateurs NAX (pour X= 65, 70, 75 et 80 dB(A) et l'indicateur NPC, pour les sites de mesure de Bruitparif. Le gradient de couleurs permet de classer les résultats de chaque indicateur du plus élevé (violet) au moins élevé (jaune) selon les sites. Cela permet de confirmer le fait que les résultats en NAX dépendent fortement du seuil retenu, la hiérarchie entre les sites pouvant être très différente selon le seuil retenu. En s'affranchissant de cet effet de seuil et en tenant compte de tous les événements, l'indicateur NPC apparaît comme un indicateur agrégé. Il se distingue par ailleurs du LAeq,24h.

NOM	LAeq,24h,fer	NE Nombre total d'événements ferroviaires	NA65 En LpAS,1s max	NA70 En LpAS,1s max	NA75 En LpAS,1s max	NA80 En LpAS,1s max	NPC,24h
Paris Coriolis	71.2	715	715	646	332	237	3595
Villemomble	62.1	51	50	47	41	31	323
Bois le Roi	60.3	130	128	109	57	36	534
Mitry-Mory	56.0	206	203	144	32	5	606
Herblay	55.1	193	191	154	22	3	563
Malakoff	51.2	169	98	6	1	0	140

A ce stade, il n'existe pas d'étude permettant de préciser les corrélations entre ce type de compteur à points avec la gêne ou d'autres indicateurs sanitaires.

4.7. Caractérisation de l'ambiance sonore « très modérée »

La notion d'ambiance sonore préexistante est utilisée pour fixer certains seuils réglementaires en situation de projet. La phase 1 de l'expérimentation se place davantage en situation de constat, avec des infrastructures en service. A titre indicatif, on indique ci-dessous le type d'ambiance sonore préexistante (sans la contribution de la ou des infrastructures ferroviaires concernées par l'expérimentation), lorsqu'il a été possible de le déterminer.

Pour rappel, les types d'ambiance préexistantes sont définies, dans l'arrêté du 29 septembre 2022, comme suit :

Période	Indicateur	<45	45-50	50-55	55-60	60-65	>=65
Jour	LAeq 6-18		TM		M		NM
Soirée	LAeq 18-22		TM		M		NM
Nuit	LAeq 22-6	TM		M			NM

Tableau 14: Détermination des zones d'ambiance sonore préexistante: TM très modérée, M: modéré, NM: non-modérée

A ce stade, aucune exigence réglementaire nouvelle n'est attachée à la définition des zones d'ambiance sonore « très modérée ». Il s'agit, dans un premier temps, d'apporter un éclairage supplémentaire sur le type d'ambiance acoustique préexistante à l'implantation d'un projet. Ce point sera à réinterroger dans la phase 2 de l'expérimentation.

Commune concernée	LAeq (6h-18h)	LAeq (18h-22h)	LAeq (22h-6h)	Ambiance sonore « préexistante »*
Bois le Roi (77)	48.8	46.0	41.9	TM
Herblay (95)	49.7	47.6	44.5	TM
Villemomble (93)	52.1	52.2	49.2	M (la nuit)
Mitry-Mory (77)	50.1	48.5	45.0	M (la nuit)
Paris (75)	60.6	60.3	56.9	M
Malakoff (92)	54.0	53.0	49.3	M (la nuit)
Rillieux-la-Pape (69)	46.5	46	35.5	TM
Malay-le-Petit / Noé (89)	39.9	38.1	31.2	TM
Montmeyran (26)	45.1	42.3	35.2	TM
Le Teil (07)	49.2	46.4	40.7	TM
Paris (75)				
Créteil (94)				
Sarcelles (95)				
Asnières-sur-Seine (92)				
Saint-Mandé (94)				

Tableau 15: Zones d'ambiance sonore préexistante pour les 15 sites de l'expérimentation. *Important : l'ambiance sonore préexistante a été estimée à partir du bruit résiduel (i.e. hors trafic ferroviaire existant)

4.8. Coûts économiques spécifiques à l'expérimentation

A ce stade, seule la RATP a évalué le coût de l'expérimentation.

« A date, au lieu d'environ 1000 à 1500€ le point de mesure pour un constat ou un état initial, la location de la chaîne météorologique (sonomètre, détecteur des trains, boucle de comptage routier, station météo, abonnement GSM, dédommagements du prix de l'électricité), l'adaptation des horodatages et formatages des fichiers, l'épuration des données, la vérification physique des données statistiques au regard du comportement acoustique des divers sites, la mise en forme des données se montent à 245k€. » (Source : **rapport de synthèse de la RATP, Annexe 2**)

La SNCF mentionne la nécessité d'évaluer plus précisément les coûts de mise en œuvre de l'arrêté :

« Une analyse des coûts supplémentaires générés par le matériel complémentaire pour l'identification précise des trains est à réaliser : poser un sonomètre indépendant qui code seul ou devoir intervenir dans les emprises en posant du matériel sur l'infrastructure n'a pas les mêmes conséquences en termes de coûts, de délai de réalisation et d'organisation à mettre en place » (Source : **rapport de synthèse de la SNCF, Annexe 2**)

Bruitparif considère que dans la majorité des cas de figure, la production des indicateurs visés par l'arrêté peut être réalisé selon les mêmes méthodes d'instrumentation et d'analyse que celles mises en œuvre par la plupart des bureaux d'études acoustiques, et que cela n'introduit donc pas de coûts supplémentaires par rapport aux tarifs actuels (1000 à 1500 € par point de mesure sur quelques jours) Pour certains cas spécifiques ou lorsque des informations complémentaires sont recherchées (vitesse, distinction des voies de circulation) des moyens d'investigation supplémentaires doivent être utilisés, cela rajoute alors au coût usuel d'instrumentation/analyse.

5. PREMIERES CONCLUSIONS ET PROPOSITIONS A L'ISSUE DE LA PHASE 1

5.1. Synthèse des enseignements de la phase 1 de l'expérimentation

5.1.1. Faisabilité d'évaluation des indicateurs d'événements et moyens journaliers

Cette première phase de mise en œuvre de l'arrêté du 29 septembre 2022 a permis de tester différentes procédures de caractérisation, par la mesure, des événements sonores ferroviaires pour évaluer les indicateurs relatifs à chaque événement et les indicateurs agrégés moyens journaliers, et ce dans des environnements plus ou moins complexes (urbain dense à rural).

L'enjeu principal initial était la faisabilité de la discrimination de l'ensemble des événements, et l'évaluation de leurs caractéristiques en termes d'intensité et de durée. Des méthodes de mesurage et d'analyse dédiées ont été utilisées pour tenir compte de la spécificité de chaque environnement :

- **Détection et codage manuel à partir de l'analyse d'enregistrements audio :**

Principes/Intérêts :

- Cette méthode, ne requiert que l'utilisation d'un appareillage acoustique courant (avec audio). Elle est adaptée à des environnements dans lesquels les sources à caractériser sont prédominantes (pas ou peu d'autres sources de bruit). Elle ne nécessite pas d'intervention sur l'infrastructure. Dans ces conditions, la quasi-totalité des événements peut être analysée et la durée de chaque événement, évaluée avec une bonne précision.

Limites/Points de vigilance

- La méthode s'avère cependant chronophage (proportionnellement au nombre de circulations) et exigeante pour l'/les opérateur(s) chargé(s) du codage audio.
- Par ailleurs, l'enregistrement et l'exploitation de fichiers audio nécessite de se conformer au règlement général sur la protection des données (RGPD). Cette contrainte peut être forte dans des environnements où des voix humaines sont susceptibles d'être captées. Le guide « Guide n°9, À l'usage des acteurs et des professionnels de l'acoustique - RGPD et Acoustique, 2023 » rédigé par le Conseil National du Bruit, rappelle le cadre légal et fournit les recommandations et bonnes pratiques.
- Cette méthode peut également être difficilement applicable pour les sites urbains dense et/ou en cas de multi exposition.

- **Mesures acoustiques et système d'information des trafics :**

Principes/Intérêts :

- La détection des événements est réalisée à partir de l'association entre les mesures acoustiques et les informations de passage ou circulations des trains. La procédure permet de maximiser le codage des événements et, dans une certaine mesure, d'éviter le codage d'événements non-associés à des circulations ferroviaires. Cette méthode ne nécessite pas de déploiement de matériel spécifique autre que l'accès aux données de circulation recueillies via un système de balises dédiées en place. L'association peut être automatisée.
- L'usage d'une base de données des trafics permet en outre d'associer les signatures acoustiques à un type de train précis. Bien que cette information ne soit pas nécessaire à l'évaluation des indicateurs, elle permet des analyses des contributions des différents matériels roulants.

Limites/Points de vigilance

- La méthode n'est utilisable que si un système d'information des circulations est disponible (à l'instar du système ORE pour la SNCF déployé sur son réseau d'une façon plus ou moins dense), ce qui n'est pas le cas sur l'ensemble du réseau ferroviaire français.
- La qualité des associations est étroitement liée à la proximité entre les points de mesures acoustiques et les balises de circulations (balises tous les 50 km dans les zones peu denses). C'est un élément qui de fait limite la capacité à utiliser la méthode sur l'ensemble du linéaire d'un réseau.
- L'identification peut être rendue complexe et incertaine dans le cas de circulations denses, croisement de trains, et/ou au droit de plateformes ferroviaires comportant plusieurs voies ou dans le cas de terminus comportant des voies de remisage par exemple
- L'obtention des données auprès des autorités organisatrices des transports peut également constituer un obstacle à leur utilisation (équipes non suffisamment dimensionnées aujourd'hui),
- Des bases Open Data (ex : <https://transport.data.gouv.fr/>) existent mais ne sont pas forcément standardisées ou vérifiées par l'autorité organisatrice des transports. Les données contenues peuvent ne concerner que les informations théoriques de circulation.
- Les circulations des trains non commerciaux (mouvements techniques, trains travaux...) peuvent être absentes de ces bases de données.

○ Mesures acoustiques et système de détection des passages dédiés :

Principes/Intérêts :

- Les mesures acoustiques sont complétées par un ensemble de capteurs destinés à détecter les passages des trains/rames : système de détection de passage sur ou à proximité de l'infrastructure ferroviaire (voire sur sources routières annexes), analyse vidéo. Les capteurs, disposés à proximité des capteurs acoustiques et (post-) synchronisés améliorent la discrimination des événements sonores. Le recours à ces dispositifs permet, pour certains, d'accéder également à la vitesse de circulation réelle, un paramètre utile pour estimer, par exemple, le temps de passage des trains.

Limites/Points de vigilance

- Certains des capteurs employés nécessitent une intervention sur l'infrastructure. Ces opérations, requièrent la mobilisation d'un personnel habilité, doivent se dérouler hors périodes de trafic ou à défaut engendrer des perturbations de l'exploitation réduisant l'autonomie des cabinets d'étude ou de mesures de constat pour plainte, référé, etc. Ces interventions peuvent exiger un fort délai avant de pouvoir disposer de l'encadrement sécurité associé. SNCF considère ne pas être dimensionné pour répondre à ce type de demande : ces ressources dédiées, rares, étant mobilisées par les travaux et la modernisation du réseau.
- L'exploitation (associations) des résultats implique le traitement complexe de nombreuses données mobilisant des ressources informatiques conséquentes.
- De façon générale, l'écart par rapport aux standards de mesures acoustiques engendre un surcoût, qu'il conviendrait d'estimer, au-delà du cadre expérimental présent.
- De même, il est nécessaire de s'assurer à l'instar de l'audio (RGPD) que tout système de reconnaissance (caméra, optique, etc.) disposé sur la voie publique respecte les contraintes de sécurité nationale, ferroviaire, concurrentielle, etc.
- Si la durée d'observation et de mesurage est optimisée pour qu'un opérateur soit présent pour coder chaque événement discriminant et recalculer sur les périodes réglementaires à l'instar de nombreuses mesures acoustiques actuelles, ce principe est adapté à la détection et au calcul des indicateurs événementiels.

En synthèse,

- Les expérimentations de la phase 1 ont démontré la faisabilité de l'identification et de l'évaluation des indicateurs acoustiques pour une majorité des 15 sites de l'arrêté du 29 septembre 2022.
- Lorsque l'environnement sonore n'est pas trop complexe (source(s) ferroviaire(s) prédominante(s)) et les conditions de mesurage maîtrisées, il a été possible de tendre vers une exhaustivité dans la caractérisation des événements sonores ferroviaires.
- Dans les situations de multi-expositions (présence d'autres sources sonores significatives, ou plateformes ferroviaires importantes), l'évaluation des indicateurs a pu être dégradée significativement, aussi bien quantitativement que qualitativement. On rappelle que la norme NFS 31-088, introduit dans son chapitre 10.1.2 sur la validation des données et sur le bruit masquant, des critères pour valider ou rejeter les événements sonores en fonction de leur niveau d'émergence (voir §2.2).
- Les campagnes de mesurages réalisées par la SNCF et la RATP ont révélé les contraintes (sécurité, exploitation, coût) liées à l'utilisation des systèmes métrologiques « intrusifs » sur ou à proximité des plateformes en complément des capteurs acoustiques. Celles-ci pourraient être considérées comme réductrices dans l'optique d'une systématisation d'un protocole de mesurage pour les études ou constats courants.
- Il paraît donc nécessaire d'approfondir l'utilisation de méthodes ne nécessitant pas d'intervention sur l'infrastructure et effectué en façade des bâtiments concernés.
- Certaines méthodes (reconnaissance de sources par intelligence artificielle, capteurs acoustiques utilisant des antennes acoustiques, couplage avec capteurs vidéo...) n'ont pas été testées lors de ces expérimentations et nécessiteraient une période de test afin de vérifier s'ils pourraient répondre aux besoins. Des pistes sont évoquées en ce sens au §6.
- A ce jour, et de manière opérationnelle, seule la réécoute audio ou le codage à pied d'œuvre permet de garantir que les pics de bruit retenus proviennent uniquement d'une circulation ferroviaire et n'aient pas été perturbés par une source de bruit parasite.

5.1.2. Pertinence des indicateurs

A titre d'expérimentation, l'arrêté du 29 septembre 2022 implique pour chaque point d'exposition considéré, l'évaluation de 5 indicateurs pour chaque événement sonore et autant d'indicateurs agrégés (NAX_), par période, pour rendre compte de façon globale d'une situation d'exposition au bruit. Ce nombre est multiplié par deux dans le cas de LGV. Ces indicateurs sont issus d'une première sélection, opérée en tenant compte des avis du CNB émis dans le cadre de la saisine relative aux pics de bruit ferroviaire. Leur choix a été guidé par l'article 90 de la LOM qui stipule : « ***Les indicateurs de gêne due au bruit des infrastructures de transport ferroviaire prennent en compte des critères d'intensité des nuisances ainsi que des critères de répétitivité, en particulier à travers la définition d'indicateurs de bruit événementiel tenant compte notamment des pics de bruit...*** ».

Pour rappel, de l'article 4 de l'arrêté du 29/09/2022 précise que les expérimentations menées visent à « ... *quantifier la pertinence technique et fonctionnelle, et leur lisibilité pour le grand public...* » des indicateurs événementiels introduits par le texte réglementaire.

Remarque : Les avis successifs du CNB ont souligné les lacunes en ce qui concerne les connaissances scientifiques (manque de fonctions dose-réponse autres que pour les indicateurs énergétiques LAeq/Lden, Ln notamment) pour déterminer les métriques acoustiques alternatives qui seraient les plus corrélées à la gêne ou d'autres effets sanitaires extra-auditifs. Parallèlement aux expérimentations menées dans le cadre de la mise en œuvre de l'arrêté, des projets expérimentaux visant à améliorer ces connaissances scientifiques sont en cours (GENIFER, Rail4Earth, COG'ENAIR...). Les résultats de ces travaux pourront être pris en compte à l'issue du bilan définitif des expérimentations, s'ils apportent de nouveaux éléments en ce sens. La capacité des indicateurs événementiels visés par l'arrêté du 29 septembre 2022, à évaluer les impacts sanitaires est donc un critère peu discriminant dans l'analyse présentée ci-après. Nous fournissons toutefois quelques éléments à ce sujet dans l'analyse de la pertinence fonctionnelle de ces indicateurs.

L'analyse de la pertinence **technique, fonctionnelle** et relative à la **lisibilité pour le grand public** s'applique de façon générale aux indicateurs d'événements uniques ou agrégés, évalués en dB(A) ou en dB(C).

• Pertinence technique

Les critères d'évaluation, retenus par le groupe de travail, concernent la faisabilité et les contraintes de mesurage des indicateurs.

Indicateurs d'événements uniques :

- **Les LpSmax et Leq,1s,max** sont faciles à mesurer **dès lors que l'événement est caractérisé**. Comme indiqué précédemment, ils **ne nécessitent pas d'évaluer la durée de l'événement/d'exposition**.
- **L'évaluation des indicateurs LAE/SEL et Leq,Tevt** nécessite de définir et quantifier la durée de l'événement Tevt avec les difficultés de définition et de bornage mises en évidence lors de l'expérimentation.
- **Toutefois, le LE/SEL** se révèle relativement peu sensible aux erreurs sur le Tevt (voir §4.3), et serait ainsi plus robuste que le Leq,Tevt.
- **Le Tevt**, destiné à quantifier le temps de « perception » de l'événement sonore et utilisé pour calculer les LAE/SEL et Leq,Tevt, ne bénéficie pas encore d'une définition complètement standardisée. Il peut être calculé de façon systématique, lorsque l'événement ferroviaire est caractérisé et suffisamment émergent du bruit résiduel, sur la plage L_{Amax}-10dB(A). Sa détermination doit être adaptée lorsque l'écart avec le bruit résiduel est compris entre -3 dB et -10 dB (cf. NFS 31-088).

Indicateurs agrégés :

- Le choix d'une représentation par pas de 2 dB des NAX, pour une large gamme de valeur X (à partir de 50 dB) permet une représentation **exhaustive tenant compte de l'ensemble des événements caractérisés** et en limitant « les effets de seuil » constatés lorsqu'un nombre limité (1 ou 2) NAX est présenté.
- La représentation des résultats selon les NAX pourrait cependant être améliorée. Une proposition serait d'associer le tableau de valeurs des **NAX** à la représentation de la distribution des indicateurs d'événements (nombres de LpSmax, Leq,Tevt par plages), plus facile à appréhender.
- L'arrêté du 29/09/2022 ne prévoit pas d'indicateur agrégé basé sur le seul **Tevt**. Cependant, il est possible de fournir la durée totale des événements ferroviaires (somme des Tevt), ou encore la distribution statistique de ces derniers.

• Pertinence fonctionnelle

Ce critère de pertinence concerne la capacité des indicateurs à répondre à l'objectif visé, en particulier à mieux décrire l'intensité et la répétitivité des événements sonores ferroviaires.

Indicateurs d'événements uniques :

- **Les LpSmax et Leq,1s,max** rendent bien compte de la notion d'intensité à travers le niveau maximum de « pic de bruit » associé à chaque événement et répondent en cela à un des attendus de l'article 90 de la LOM, en complétant les indicateurs réglementaires actuels. Les expérimentations ont de plus démontré que la **dispersion** des résultats pour ces indicateurs, n'est **pas significativement plus importante** que pour les autres indicateurs événementiels (voir §4.5.2).
- Le **LE/SEL** peut être pertinent, et sensiblement décorrélé du LSmax, par exemple dans le cas de trains de fret circulant à basse vitesse avec des temps de passage variables et pouvant atteindre de plusieurs dizaines de secondes. Il permet mieux de discriminer les différents événements sonores sur un site. Le LE/SEL permet par exemple de comparer le contenu énergétique total (et non équivalent) d'événements ayant des durées (Tevt) variables.
- Par définition ces indicateurs caractérisant chaque événement, ne portent pas d'information de répétitivité (voir ci-dessous indicateurs agrégés)
- Les (peu nombreuses) études de gêne ou sanitaires se basent sur le **LpSmax**. Il a en particulier été utilisé en lien avec la **perturbation du sommeil**. En 1999, l'OMS¹¹ avait recommandé de limiter l'exposition à des niveaux de bruit événementiel (L_{Amax}), de nuit, supérieurs à 45 dB(A). Cependant, en 2018¹², l'OMS a choisi de ne pas reconduire de recommandations sur le L_{Amax}, considérant que les liens avec les effets sanitaires de long terme n'étaient pas suffisamment robustes et que les objectifs de cette publication, étaient de donner des recommandations en L_{den} et L_n, par source de bruit, en cohérence avec la directive 2002/49/CE. L'OMS

¹¹ OMS, 1999, Guidelines for community noise

¹² OMS, 2018, [Environmental Noise Guidelines for the European Region](#)

mentionne toutefois que les indicateurs L_{den} et L_n ne sont pas toujours les mieux adaptés pour caractériser un effet particulier du bruit. Les indicateurs événementiels, comme le L_{Amax} et la distribution des L_{Amax} , sont préférables dans certaines situations spécifiques, comme dans le contexte de l'exposition nocturne au bruit ferroviaire ou au bruit aérien, les réveils et les réactions physiologiques étant en grande partie expliqués par le L_{Amax} . Cela avait été rappelé dans la publication de l'OMS de 2009¹³ consacrée au bruit sur la période nocturne, avec des seuils d'effet physiologique du bruit nocturne variant de 32 à 42 dB(A) selon l'indicateur L_{Amax} à l'intérieur de la chambre à coucher.

- **A contrario, les LAE/SEL et Leq,Tevt** ont jusqu'à présent été très peu (voire pas du tout) utilisés dans les études sanitaires concernant le bruit ferroviaire, contrairement aux études menées dans le domaine du bruit aérien où le SEL est utilisé, tout comme le $L_{Aeq,1s,max}$, pour caractériser les impacts sur le sommeil.
- Concernant le **Tevt**, l'indicateur, non-acoustique, ne porte pas d'information relative à l'intensité acoustique.

Indicateurs agrégés :

- Par définition, les **NAX** portent une information de **répétitivité ou densité moyenne d'événements** sur les périodes de détermination (jour, soir, nuit).
- La déclinaison des **NAX** par classes de niveaux X, complète l'information en termes **d'intensité** des événements.
- Si elle était utilisée, la durée totale d'exposition au bruit ferroviaire (somme des T_{evt}) ne porterait pas directement d'information sur l'intensité ou la répétitivité.

- **Lisibilité par le grand public**

Indicateurs d'événements uniques :

- Les **LpSmax** et **Leq,1s,max** sont deux indicateurs généralement considérés comme compréhensibles, car portant une information simple (niveau acoustique maximum), et souvent attendue par le grand public.
- Les **LE/SEL** et **L_{Aeq},Tevt** sont considérés comme moins compréhensibles pour le grand public que les L_{pASmax} ou $L_{Aeq,1s,max}$, car basés, soit sur une notion de dose énergétique totale reçue sur la durée de l'événement (LE/SEL) d'une circulation ferroviaire, soit sur le niveau d'énergie moyen ou équivalent sur cette durée (Leq,Tevt). Ils nécessitent donc une accoutumance plus importante pour faire le lien avec la perception de l'événement.

Indicateurs agrégés :

- Pris indépendamment les uns des autres, les indicateurs **NAX** (nombres d'événements au-dessus d'un seuil X) sont considérés comme compréhensibles, et d'autant plus que l'indicateur d'événement utilisé l'est également (ie : NAX sur L_{pSmax} ou $L_{Aeq,1s,max}$ plus compréhensible que NAX sur LE/SEL ou Leq,Tevt)
- **La représentation des NAX** pour une large plage de valeur de niveaux semble toutefois plus difficile à appréhender, d'où la proposition du groupe de travail de limiter le pas de représentation des résultats à 5 dB et de compléter par la représentation graphique des distributions des indicateurs de niveaux (plus compréhensible), en choisissant un pas compris entre 1 et 5 dB, à adapter à chaque situation.

Remarques complémentaires concernant l'évaluation des indicateurs en dB(C)

- **Pertinence technique**

Idem indicateurs en dB(A).

- **Pertinence fonctionnelle**

Ceux-ci apportent bien une information supplémentaire dans le cas de contenu important en basses fréquences pour les circulations à grande vitesse. La méconnaissance des mécanismes de gêne ou autres impacts sanitaires vis-à-vis de l'exposition aux basses fréquences justifie de conserver une information moins filtrée qu'elle ne l'est en dB(A). On rappelle que la pondération « A » est à l'origine adaptée pour prendre en compte la sensibilité de l'oreille humaine pour des bruits faibles à modérés (40 phons).

- **Lisibilité par le grand public**

¹³ OMS, 2009, Night Noise Guidelines

La compréhension des conséquences de l'utilisation des pondérations A et C reste réservée, aujourd'hui, à un public averti, mais de mieux en mieux informé. Il n'est pas rare de voir la question/remise en cause de l'usage unique du dB(A), abordée dans le débat public. Au-delà de l'intérêt scientifique, la communication d'indicateurs en dB(C) est un gage de transparence supplémentaire dans la description des situations d'exposition.

Remarques complémentaires concernant le compteur à points

Une première version de compteur à points a été proposée et calculée par Bruitparif sur les sites de mesures dont l'association avait la charge. Dans cette première version du compteur à points, un nombre de points est affecté à chaque événement ferroviaire en fonction de son niveau SEL, puis ces points sont sommés arithmétiquement sur la période considérée pour le calcul.

Par manque de références, il reste aujourd'hui difficile de se prononcer sur le caractère compréhensible, la capacité à compléter la description d'une situation acoustique événementielle ou le lien avec les effets sanitaires. Il conviendrait d'éprouver la pertinence de l'utilisation de ce type d'indicateurs par des études complémentaires. Par construction, le compteur à points utilise les mêmes informations que les indicateurs réglementaires énergétiques actuels, mais il modifie fortement le principe sous-jacent d'équivalence énergétique entre le nombre d'événements et le niveau de ces événements sonores (voir note de positionnement de Bruitparif en annexe).

5.1.3. Utilisation potentielle des indicateurs

L'arrêté du 8/11/1999 est le texte de référence réglementaire en matière de bruit des infrastructures ferroviaires. Il fixe des indicateurs de gêne due au bruit d'une infrastructure ferroviaire et définit les niveaux maximaux admissibles en cas d'infrastructure ferroviaire nouvelle ou significativement modifiée. A ce stade, l'arrêté du 29/09/2022 ne prévoit pas d'évolution ou d'introduction de nouveaux seuils réglementaires. Cependant, le groupe de travail a souhaité donner « à dire d'experts », une indication sur la possibilité d'utilisation de chaque indicateur pour le dimensionnement de protections acoustique (écrans, isolation de façade...). Une première étude de sensibilité pourra être menée lors de la phase 2 de l'expérimentation, à partir de résultats de modélisation, mais devra être complétée par une analyse de faisabilité technique et économique plus poussée.

Remarque : les protections acoustiques (écrans, isolation de façade) sont aujourd'hui conçues et dimensionnées en utilisant les critères en dB(A) en utilisant des indicateurs de dose et de long terme. **L'utilisation d'un indicateur tel que les niveaux LASmax ou LAeq,1s,max et de grandeurs en dB(C) pourrait conduire à réinterroger en profondeur la conception et le dimensionnement de ces protections avec des conséquences techniques et économiques significatives (ex : hauteur d'écran, voire couvertures totales...).** Il faut en effet rappeler que les méthodes (écran, isolement acoustique des bâtiments) à mettre en œuvre pour protéger des basses fréquences sont plus complexes et coûteuses que pour les fréquences medium.

Le groupe de travail s'est également positionné sur le potentiel d'utilisation des différents indicateurs dans une logique de suivi ou d'évaluation des évolutions.

Le Tableau 16 synthétise le bilan de cette analyse de pertinence, complétée des potentialités d'utilisation des différents indicateurs.

Indicateurs pour chaque événement						
Indicateur	Intensité	Répétitivité	Information et compréhension	Suivi de l'évolution	Dimensionnement de protections	Commentaire
LpASmax	Très proche du niveau maximal acoustique (peak)	NC	Intuitif et représentatif du niveau sonore maximum Facilement compréhensible par les non-spécialistes Déjà largement utilisé et ayant fait l'objet du plus grand nombre d'études	Permet de suivre l'évolution du bruit individuel des matériels roulants ou des conditions de circulation (vitesse) mais sans prise en compte de la durée d'événement ni du nombre d'événements	Au travers des NAX associés, pourrait être pertinent pour le dimensionnement de protections	Indépendant de la durée de détection (Tevt) : facilite son évaluation, mais pas d'info sur la durée de l'événement. Directement mesurable avec un sonomètre standard de classe 1 dès lors que l'événement est détecté Redondance/ LAeq,1s,max
LAeq,1s,max	Très proche du niveau maximal acoustique (peak)	NC	idem LpASmax	idem LpASmax	idem LpASmax	Proche et comparable au LpASmax. Utilisé dans certains logiciels de prévision du bruit événementiel ferroviaire.
LAeq,Tevt	Inférieur au niveau maximum, car représentatif « l'énergie moyenne » sur la durée de l'événement	NC	Moins intuitif que LpASmax et LAeq,1s,max, car niveau équivalent moyen intégré sur la durée de l'événement.	Idem LpASmax	Plus-value limitée par rapport à ce qui est fait actuellement	« Moyenne l'énergie » sur la durée de l'événement. Dépendant et sensible à la détermination du Tevt Nécessite le bornage complet de l'événement
LAE/SEL	Indicateur de « dose » qui intègre l'énergie de l'événement sur la durée de passage Caractérise l'intensité totale de l'événement, mais pas l'intensité maximale (pic) (dépend de la signature acoustique)	NC	Moins intuitif que LpASmax et LAeq,1s,max, car niveau d'énergie totale intégrée sur la durée de l'événement (dose). C'est l'indicateur le plus approprié pour comparer les événements entre eux. Il permet de discriminer des circulations ferroviaires qui auraient la même intensité sonore mais pas la même durée (exemple double rame/ simple rame) contrairement au LAmx et au LAeq,Tevt	Permet de suivre l'évolution du bruit individuel des matériels roulants ou des conditions de circulation (vitesse) avec prise en compte de la durée d'événement mais pas du nombre d'événements	Plus-value limitée par rapport à ce qui est fait actuellement	Sensibilité faible au Tevt (plus robuste que le LAeq,Tevt)
Tevt	NC	NC	Facile à comprendre, si bien défini (bornage) mais complexe à définir si faible émergence de la circulation par rapport au bruit de fond	Indirectement liée au nombre d'événements, longueur des convois, vitesses de circulation	Non	Principalement indicateur intermédiaire utilisé pour le calcul des LAeq,Tevt et LAE Non rigoureusement défini mathématiquement, on peut toutefois lui associer un bornage (par exemple intervalle de temps dans LAmx-10 dB(A)) si l'événement émerge suffisamment du bruit résiduel Information complémentaire à l'intensité et à la répétitivité Encore plus sensible à la distance source-récepteur que ne le sont les autres indicateurs

Indicateurs en dB(C) pour les LGV	Plus représentatif du niveau maximal physique que le dB(A)	NC	Nécessite d'expliquer le dB(C) Permet de lever les limites du dB(A) quant à la prise en compte des basses fréquences.	Idem indicateurs en dB(A)	Le dimensionnement des protections acoustiques (écrans, isolation) est aujourd'hui réalisé en dB(A). Des adaptations seraient nécessaires pour prendre en compte le dB(C)	Idem indicateurs en dB(A) Meilleure prise en compte des basses fréquences. Utile pour d'éventuelles études sanitaires à venir.
NP (Nombre de Points)	Convertit le SEL dans une échelle qui se veut plus proche de la perception auditive : $NP = 2^{((SEL_{evt} - SEL_{ref})/X)}$	NC	Nécessite une appropriation spécifique en tant que nouvel indicateur (échelle linéaire, doublement de la bruyance pour un doublement de l'indicateur)	Permettrait de suivre l'évolution du bruit avec prise en compte de la durée d'événement	Non adapté au dimensionnement de protections	Indicateur expérimental, en cours d'évaluation.

Indicateurs agrégés						
Indicateur	Intensité	Répétitivité	Information et compréhension	Suivi de l'évolution	Dimensionnement de protections	Commentaire
NAX	Donne une vision globale de la distribution des indicateurs, le cas échéant des niveaux max.	Rend compte de l'ensemble des événements ferroviaires. La représentation par classes limite l'effet de seuil constatée lors de l'emploi d'un ou deux NAX	Compréhensible par les non-spécialistes. Sur le plan graphique, la représentation des distributions des indicateurs d'événements par classes constitue une alternative plus facile à appréhender.	Oui, avec éventuellement ajustement du nombre/largeur des classes de représentation	Possible, à condition de définir des seuils pour un ou plusieurs NAX	Pas (2 dB) à ajuster éventuellement en fonction des situations
NPC (Noise Point Counter)	Agrège la totalité	Prend en compte l'ensemble des événements ferroviaires : nombre, durée, niveau voire période d'apparition de chaque événement.	Appropriation à prévoir. L'échelle linéaire de variation avec le trafic toutes choses égales par ailleurs, en fait un atout pour la compréhension du public.	Oui, permettrait de caractériser l'évolution du bruit en prenant en compte le nombre, la durée, le niveau voire la période d'apparition de chaque événement.	Non adapté au dimensionnement des protections	Nécessite de construire une méthodologie nouvelle (valeurs de référence/seuil à atteindre) Indicateur qui reste expérimental à ce stade, nécessiterait d'être validé par des études avec la population.,

Tableau 16: Synthèse de l'analyse des indicateurs de l'arrêté du 29 septembre 2022 à l'issue de la première phase d'expérimentation.

5.2. Propositions d'évolution de l'arrêté du 29 septembre 2022

A ce stade des expérimentations et sans présager des résultats de la phase 2, les évolutions suivantes, visant à simplifier l'évaluation des indicateurs événementiels sont envisagées :

De manière obligatoire :

- **Indicateurs pour chaque événement :**
 - **LAeq,1s,max** : niveau de pression acoustique équivalent (1s) maximum

- **Indicateurs agrégés moyens annuels journaliers :**

Pour chacune des trois périodes d'une journée moyenne : Jour (6h-18h), Soirée (18h-22h), et Nuit (22h-6h), les nombres **NAX_LAeq,1s,max** de circulations ferroviaires, conduisant à un dépassement strict de la valeur X du niveau des indicateurs LAeq,1s,max seront évalués.

- Les **NAX_LAeq,1s,max** sont évalués à partir de X=50 dB(A), par pas de 5 dB(A), sous la forme d'un tableau de valeurs
- Une représentation complémentaire de la distribution des niveaux **LAeq,1s,max** correspondant aux événements ferroviaires, par défaut par pas de 2 dB(A) ou selon un pas adapté à la dynamique des valeurs de l'indicateur LAeq,1s,max (pas pouvant aller de 1 dB(A) à 5dB(A)).

- **Cas des LGV (vitesse>250 km/h) :**

Pour les lignes ferroviaires supportant exclusivement des circulations de TaGV à grande vitesse (V>250 km/h), supportant des vitesses de circulation supérieures à 250 km/h, sont également évalués les indicateurs suivants, sur la base de niveaux sonores avec la pondération fréquentielle C :

- **LCeq,1s,max**, ou pour les niveaux sonores maxima ;
- Les **NAX_LCeq,1s,max** sont évalués à partir de X=50 dB(C), par pas de 5 dB(C), sous la forme d'un tableau de valeurs
- Une représentation complémentaire de la distribution des niveaux **LCeq,1s,max** correspondant aux événements ferroviaires, par défaut par pas de 2 dB(C) ou selon un pas adapté à la dynamique des valeurs de l'indicateur LCeq,1s,max (pas pouvant aller de 1 dB(C) à 5dB(C)).

Note : De façon générale, les participants à l'expérimentation s'accordent sur le fait qu'il serait souhaitable que les résultats de mesures répondent à la norme NF S 31-088 comprenant un listing de l'ensemble des événements sonores ferroviaires mesurés et codés avec les informations suivantes pour chaque événement : horodatage (heure_max, début, fin), LAmx, SEL (pour Tevt dans LAmx-10dB), LAeq,Tevt (pour Tevt dans LAmx-10dB), durée Tevt (pour Tevt dans LAmx-10dB).

6. COMPLEMENTS TECHNIQUES, PERSPECTIVES

6.1. Dispositifs de détection des passages de trains/rames sur rail

Au cours de l'expérimentation phase 1, des méthodes alternatives de détection et caractérisation des événements ont été proposées par les organismes en charge des mesures, sans toutefois avoir pu être mises en œuvre. Elles constituent des options à approfondir dans la suite des travaux et sont décrites ci-après.

La SNCF et la RATP ont mentionné l'usage possible de pédales de voie pour améliorer la fiabilité de détection des trains/rames. Ce système composé d'un capteur électronique par induction, placé directement sur le rail, nécessite une intervention sur l'infrastructure. Il n'est pas compatible avec certains types de rails (gorges) ou pour les pistes de métro-pneumatiques.

De plus, sa mise en place nécessite un personnel compétent et habilité pour se rendre sur les infrastructures ferroviaires. La logistique (personnels habilités, contraintes d'exploitation) associée à l'utilisation de ces dispositifs reste complexe et coûteuse. Il paraît difficile de l'envisager dans le cadre de mesures acoustiques réglementaires standards. Les équipes SNCF disent ne pas être dimensionnées pour cela.



Figure 51: Exemple de pédale de voie électronique permettant la détection du passage d'essieux. Ce type de dispositif pourrait s'avérer plus efficace que les jauges de contraintes susceptibles de fournir des signaux bruités difficilement exploitables.

6.2. Capteurs permettant d'identifier les directions principales des sources d'émission

Pour pouvoir caractériser les événements ferroviaires sur des sites complexes, des systèmes d'identification complémentaires pourraient être mis en place, comme des capteurs additionnels disposant de fonctionnalités de détection de provenance du son.

Bruitparif a mentionné la possibilité d'utiliser [le capteur méduse \(breveté\)](#) qui permet de déterminer à chaque instant la direction de provenance du bruit dominant dans la scène. Ce capteur est une aide précieuse pour la discrimination des sources de bruit en présence et pour l'identification des événements sonores ferroviaires. Il a amélioré fortement l'identification des événements sur le site de Savigny-sur-Orge dans le cadre du projet GENIFER coordonné par Bruitparif avec la participation de SNCF Réseau et de l'Université Gustave Eiffel. Il a également été utilisé à Charenton-le-Pont en situation riverain pour discriminer le bruit des circulations ferroviaires, du bruit généré par les activités de maintenance du Technicentre. Bruitparif est en train de mettre au point une version classe 1 du capteur méduse qui devrait être disponible avant la fin de l'année 2025 et qui offrira une alternative très intéressante au sonomètre classique de classe 1 pour déterminer de manière automatisée les événements sonores liés au trafic ferroviaire. A noter que le capteur méduse est déjà largement utilisé sur le réseau de surveillance du bruit en Île-de-France pour des objectifs de détection du bruit lié au trafic aérien, de pics de bruit liés à des véhicules bruyants, ou encore pour la surveillance de bruits de chantiers ou d'aide à la régulation en lien avec les nuisances sonores liées à la vie récréative.



Figure 52 : Vues du capteur méduse (à gauche) et en situation sur le site de Savigny-sur-Orge dans le cadre de l'étude GENIFER (au centre) et à proximité du technicentre de Charenton (à droite)

D'autres dispositifs ont été développés (notamment dans le cadre des expérimentations liées à la mise en œuvre de l'article 92 de la loi LOM (radars sonores)) :

- <https://www.bruitparif.fr/le-radar-sonore-hydre/>
- [ATD - Acoem France \(https://www.acoem.com/france/fr/products/detection-des-menaces-acoustiques/atd/\)](https://www.acoem.com/france/fr/products/detection-des-menaces-acoustiques/atd/)
- [Directivité du bruit | Identification des sources de bruit | Svanitek \(https://svantek.com/fr/academie/directivite-du-bruit/\)](https://svantek.com/fr/academie/directivite-du-bruit/)
- [Nor1297 Noise compass - Norsonic \(https://www.norsonic.com/products/outdoor-microphones/nor1297-noise-compass/\)](https://www.norsonic.com/products/outdoor-microphones/nor1297-noise-compass/)
- [Monitoring environnemental - MicrodB \(https://microdb.fr/product/monitoring-environnemental/\)](https://microdb.fr/product/monitoring-environnemental/)

6.3. Reconnaissance des sources par intelligence artificielle

Les progrès récents réalisés dans le domaine de l'intelligence artificielle permettent d'envisager à relativement court terme l'arrivée de systèmes acoustiques performants de reconnaissance des sources. Cette option pourrait considérablement simplifier la procédure de codage des événements ferroviaires et même à terme permettre l'identification des types de circulations.

Des travaux en ce sens sont en cours :

- Reconnaissance automatique du passage de TaGV. Retour sur la campagne expérimentale du projet Rail4Earth - V. Le Bescond, N. Fortin, P. Aumond, O. Chiello (UMRAE) ; M. Roux (SNCF/UMRAE) ; R. Boittin, F. Moniez, G. Foulon, P. Gaillard, G. Litou (Cerema).
- Système Wavely (Wavely - donner du sens au bruit avec l'intelligence artificielle).

6.4. Complément sur la relation entre LAeq et LpAS

Certains systèmes de mesurage acoustique et outils de modélisations des indicateurs événementiels ne permettent pas d'évaluer directement le LpA(Sou F),max, « proche » du LAeq (100ms ou 1s). Pour pouvoir comparer plus finement ces indicateurs, une méthode spécifique a été mise en place, par Bruitparif, pour évaluer les niveaux LpAS,max et LpAF,max à partir des LAeq,100ms. Elle est décrite ci-dessous :

On pose $T=100ms$, la période d'intégration. On considère une suite de valeurs $(L_{eq}^i)_{i \in [1, \dots, n]}$. Soit τ la constante de temps liée à la pondération temporelle recherchée.

- Pour le Fast, $\tau = 125ms$
- Pour le Slow, $\tau = 1000ms$

On note a et b , deux constantes définies comme suit :

$$a = e^{-\frac{T}{\tau}}$$

$$b = 1 - a$$

On définit la suite $(L_{\tau}^i)_{i \in [1, \dots, n]}$ de la manière suivante :

$$L_{\tau}^i = 10 \log_{10} \left[a 10^{\frac{L_{\tau}^{i-1}}{10}} + b 10^{\frac{L_{eq}^i}{10}} \right]$$

Cette suite constitue un estimateur de l'indicateur acoustique recherché (ie : $LpAS, max$ ou $LpAF, max$ en fonction de la valeur de τ utilisée).

Complément (ajout Cerema):

Inversement, connaissant la suite $(L_{\tau}^i)_{i \in [1, \dots, n]}$, il est possible d'en déduire les L_{eq}^i :

$$L_{eq}^i = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{b} \left(10^{\frac{L_{\tau}^i}{10}} - a 10^{\frac{L_{\tau}^{i-1}}{10}} \right) \right]$$

Cette méthode a été validée sur un jeu de données test comprenant des mesures réelles de $L_{Aeq, 100ms}$ et de $LpAS$ et $LpAF$ (voir Figure 53).

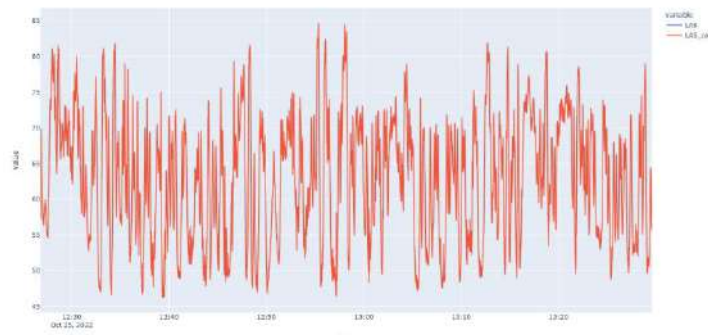


Figure 53: Test comparatif entre l'évaluation du $LpAS$ (LAS_calc) à partir des $L_{Aeq, 100ms}$ et du $LpAS$ mesuré (LAS) – les deux courbes sont confondues. Source : Bruitparif

7. CONCLUSION ET PERSPECTIVES DE LA PHASE 1 DE L'ARRETE DU 29 SEPTEMBRE 2022

La phase 1 de la mise en œuvre de l'arrêté « pics de bruit » du 29 septembre 2022, a permis, au travers de campagnes de mesure acoustique réalisées sur 15 sections de lignes ferroviaires, d'apporter des éléments d'appréciation de la faisabilité d'évaluation des indicateurs événementiels nouvellement introduits.

Après la définition d'un cahier des charges commun, une relative liberté a été laissée aux parties prenantes de ces expérimentations (Acoucité, Bruitparif, RATP, SNCF) et a permis de révéler les avantages, limites et difficultés liés aux différentes méthodes mises en œuvre :

- La détection, le codage et le bornage des événements ferroviaires a largement focalisé les efforts des parties prenantes, nécessitant le déploiement de moyens parfois conséquents et coûteux, pour tenter de caractériser l'intégralité des passages ferroviaires.
- Les conditions de mesurages, dans des environnements sonores complexes (multi-exposition routière et ferroviaire notamment) ont mis en évidence les difficultés à atteindre l'exhaustivité dans l'identification des événements.
- Le volume de données à traiter (plusieurs centaines voire dizaine de milliers d'événements à traiter) a également rendu complexe les phases d'analyse.
- Les contraintes imposées par la RGPD sur l'utilisation d'enregistrements audio ont également pu limiter leur utilisation.
- Dans les environnements où la/les sources ferroviaires étaient prédominantes, les analyses et déterminations des indicateurs événementiels ont pu être menées en approchant l'exhaustivité.

Toutes ces difficultés ou contraintes ne sont pas nouvelles et sont bien connues des professionnels de l'acoustique, lorsqu'il s'agit de caractériser la contribution spécifique du bruit ferroviaire dans le bruit ambiant/résiduel.

A l'issue de la phase 1, un certain nombre de recommandations ou pistes de travaux complémentaires sont proposées ci-après. Ces propositions seront réexaminées à l'issue de la phase 2 d'expérimentation de l'arrêté du 29 septembre 2022.

Recommandation n°1 :

La norme NF S 31-088, sur le mesurage du bruit ferroviaire, fait aujourd'hui référence et fournit le cadre pour valider ou invalider une mesure sur la base de la prédominance du bruit ferroviaire ou de la contribution des différents événements. Appliquée aux mesures réalisées dans le cadre de l'expérimentation, elle aurait permis d'objectiver les situations dans lesquelles le bruit événementiel ferroviaire ne peut être caractérisé et par conséquent, d'identifier **les situations d'exposition pour lesquelles l'utilisation d'indicateurs événementiels n'est pas pertinente**. Le critère de détection d'événement masquant de niveaux supérieurs à -3 dB par rapport aux événements ferroviaires, stipulé dans la norme, semble suffisant pour accepter ou rejeter un événement ferroviaire en tant que « pic de bruit ».

D'autres **critères de validations** des mesures (écart, en termes de LAeq, entre le bruit ambiant au passage de circulations ferroviaires et le bruit résiduel supérieur ou égal à 10 dB(A), utilisation de métriques en dB(A), pourcentage d'événements menant à une invalidation de la mesure) **pourraient cependant être réinterrogés** au regard des situations particulières : tonalités marquées, émergences spectrales, situations événementielles sur des périodes plus courtes que les périodes réglementaires...

Recommandation n°2 :

Lorsque les indicateurs événementiels ont pu être calculés, les analyses statistiques ont révélé des **corrélations significatives** entre certains d'entre eux, permettant d'envisager une **réduction du nombre d'indicateurs obligatoires** à évaluer (voir §5.2). Les propositions faites en ce sens, sont basées sur l'analyse de leur pertinence technique et fonctionnelle et de leur lisibilité pour le grand public, ainsi que sur leur potentiel d'utilisation éventuelle.

La proposition **d'indicateurs** événementiels obligatoires ou facultatifs à considérer (voir Tableau 17), se base à ce jour sur leur capacité à **compléter les indicateurs réglementaires** énergétiques en vigueur. Cette proposition sera réexaminée à l'issue de la phase 2 de l'expérimentation.

Infrastructures ferroviaires concernées	Indicateurs évalués pour chaque événement	Indicateurs agrégés sur les périodes réglementaires
Toutes infrastructures ferroviaires	<p>Obligatoire : LAeq,1s,max</p> <p>Facultatif * : Tevt SEL_A/LAE Autres indicateurs éventuels</p>	<p>Obligatoire : NAX_LAeq,1s,max par pas de 5 dB(A), à partir de 50 dB(A)</p> <p>Représentation complémentaire du nombre de LAeq,1s,max par classes de 1 dB(A) à 5 dB(A)</p> <p>Facultatif : NAX_SEL_A Temps cumulé Représentation de la distribution des Tevt Autres indicateurs agrégés</p>
LGV supportant des trains circulant à plus de 250 km/h	<p>Obligatoire : LCeq,1s,max</p> <p>Facultatifs* : SEL_C/LCE, Autres indicateurs éventuels</p>	<p>NAX_LCeq,1s,max par pas de 5 dB(C), à partir de 50 dB(C)</p> <p>Représentation complémentaire du nombre de LCeq,1s,max par classes de 1 dB(C) à 5 dB(C)</p> <p>Facultatif : NAX_SEL_C Autres indicateurs agrégés</p>

Tableau 17: Proposition de liste réduite d'indicateurs événementiels à retenir pour l'évaluation du bruit ferroviaire, en plus des indicateurs réglementaires actuels. *On rappelle que la norme de mesurage du bruit ferroviaire NFS 31-088 prévoit de conserver l'ensemble des données brutes nécessaires pour évaluer ces indicateurs.

Recommandation n°3 :

Des pistes d'amélioration pour la **détection et le codage** des passages ferroviaires (antennes acoustiques) et pour la **reconnaissance automatique des sources** ont été présentées (utilisation de l'intelligence artificielle) et pourraient, à relativement court-terme, lever certaines limites mises en évidence lors de la phase 1 de l'expérimentation.

Recommandation n°4 :

Fautes d'éléments scientifiques nouveaux, aucune analyse de la pertinence des indicateurs vis-à-vis des **impacts sanitaires extra-auditifs** (gêne, perturbation du sommeil, cardiopathies, effets cognitifs...) n'a pu être effectuée. De même, aucune proposition de seuils ou valeurs de référence n'a été formulée à l'issue de cette phase 1 de l'expérimentation. Il serait donc nécessaire de lancer des études pour pouvoir disposer d'une base scientifique solide à ce sujet.

ANNEXE 1 : FICHES DETAILLEES DES MESURES PAR SITE

Fiches de mesure Bruitparif



Descriptif du site de mesure



Vue de la station de mesure



Vue du site

Nom usuel du site	Bois le Roi
Nom du site (nomenclature gestionnaire)	77590-BOIS-LE-ROI-METRA
Département	77
Coordonnées_Lat_Long	48.471493, 2.699063
Adresse	3 rue de Verdun
Code Postal	77590
Ville	Bois-le-Roi
Gestionnaire des voies	SNCF-Réseau
Numéro de ligne	830000
Type de site	Péri-urbain
Vitesse maximale de circulation (en km/h)	160
Vitesse moyenne réelle de la ligne (mesurée) en km/h	Non disponible
Classement sonore de la voie	Catégorie 2
Distance du récepteur à la voie la plus proche (en mètres)	34
Hauteur du récepteur par rapport au sol (en mètres)	4
Type de mesure (champ libre / façade)	Champ libre
Nombre de voies	2
Type traverses	Béton - monobloc
Présence d'une protection acoustique (écran, merlon...)	Non
Hauteur terrain récepteur par rapport hauteur terrain voies (en mètres)	0
Autres sources potentielles de bruit 1	Ecole Olivier Metra
Autres sources potentielles de bruit 2	-
Autres sources potentielles de bruit 3	-
Autres sources potentielles de bruit 4	-
Date de début des mesures	01/10/2022
Date de fin des mesures	30/04/2023
Durée totale de la mesure exploitée (en jours)	181

Trafic ferroviaire moyen pendant l'expérimentation (sur la période de mesure exploitée)

Catégorie	Période	Trafic Moyen Journalier		
		Tous Jours Confondus	Jours Ouvrables	Week-End
Tous types de matériels confondus	Journée 6h-18h	84	88	75
	Soirée 18h-22h	32	33	30
	Nuit 22h-6h	17	17	16
	Total 24 heures	133	138	121
Transilien / RER	Journée 6h-18h	34	35	32
	Soirée 18h-22h	15	16	11
	Nuit 22h-6h	8	7	9
	Total 24 heures	56	58	52
TER / Intercités	Journée 6h-18h	16	17	14
	Soirée 18h-22h	6	6	6
	Nuit 22h-6h	1	1	0
	Total 24 heures	23	24	21
Corail	Journée 6h-18h	28	30	25
	Soirée 18h-22h	8	7	11
	Nuit 22h-6h	3	3	4
	Total 24 heures	39	39	40
TaGV	Journée 6h-18h	0	0	0
	Soirée 18h-22h	0	0	0
	Nuit 22h-6h	0	0	0
	Total 24 heures	0	0	0
Fret / travaux	Journée 6h-18h	5	6	4
	Soirée 18h-22h	4	4	2
	Nuit 22h-6h	6	7	3
	Total 24 heures	15	17	9
Métro	Journée 6h-18h	0	0	0
	Soirée 18h-22h	0	0	0
	Nuit 22h-6h	0	0	0
	Total 24 heures	0	0	0
Tramway	Journée 6h-18h	0	0	0
	Soirée 18h-22h	0	0	0
	Nuit 22h-6h	0	0	0
	Total 24 heures	0	0	0

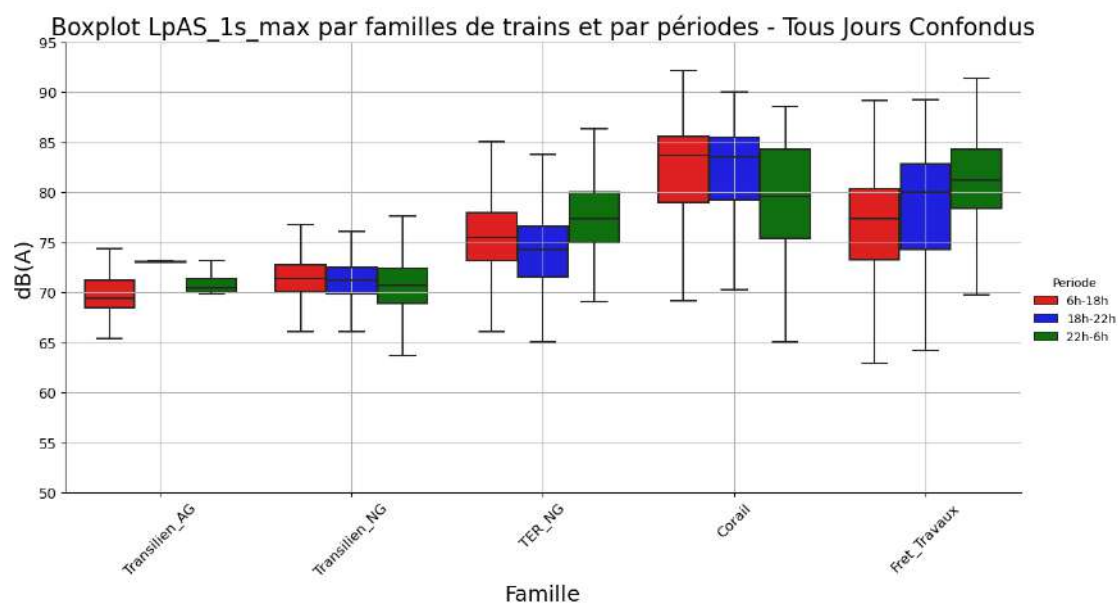
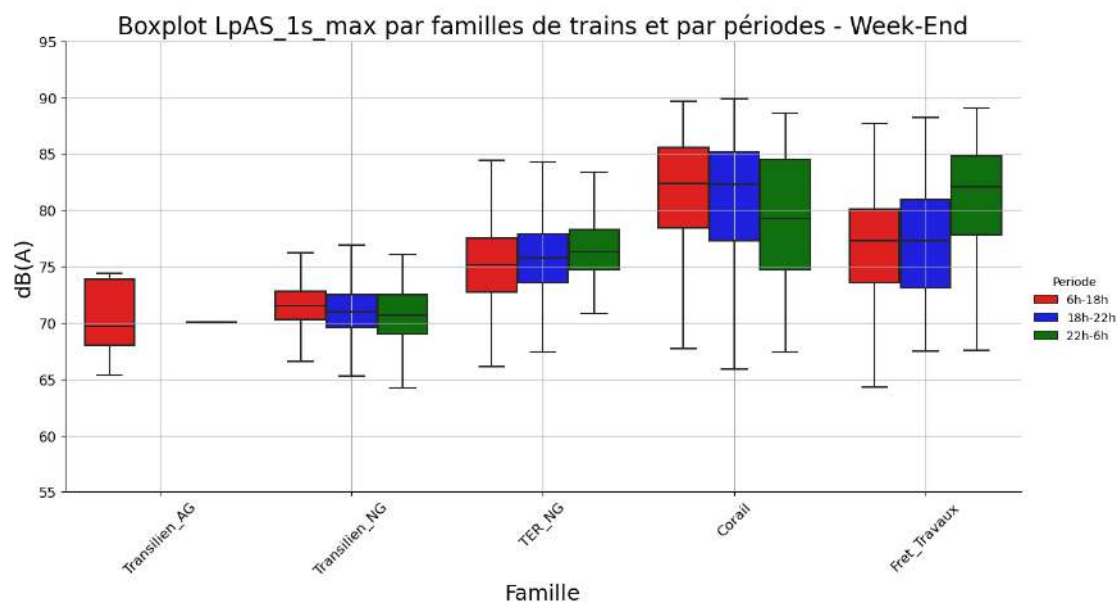
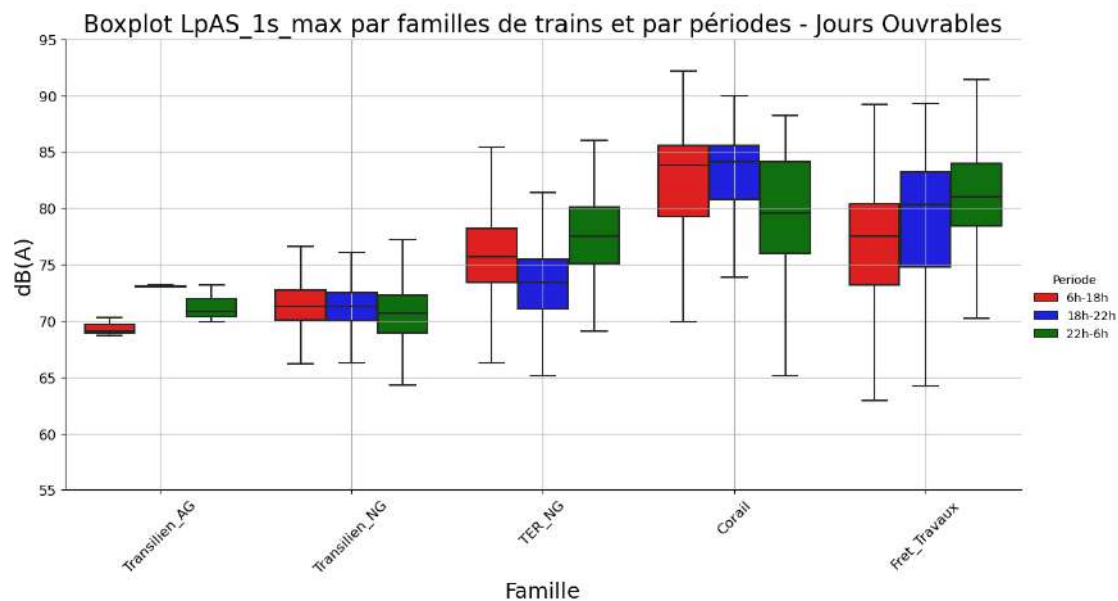
Données ORE – SNCF-Réseau

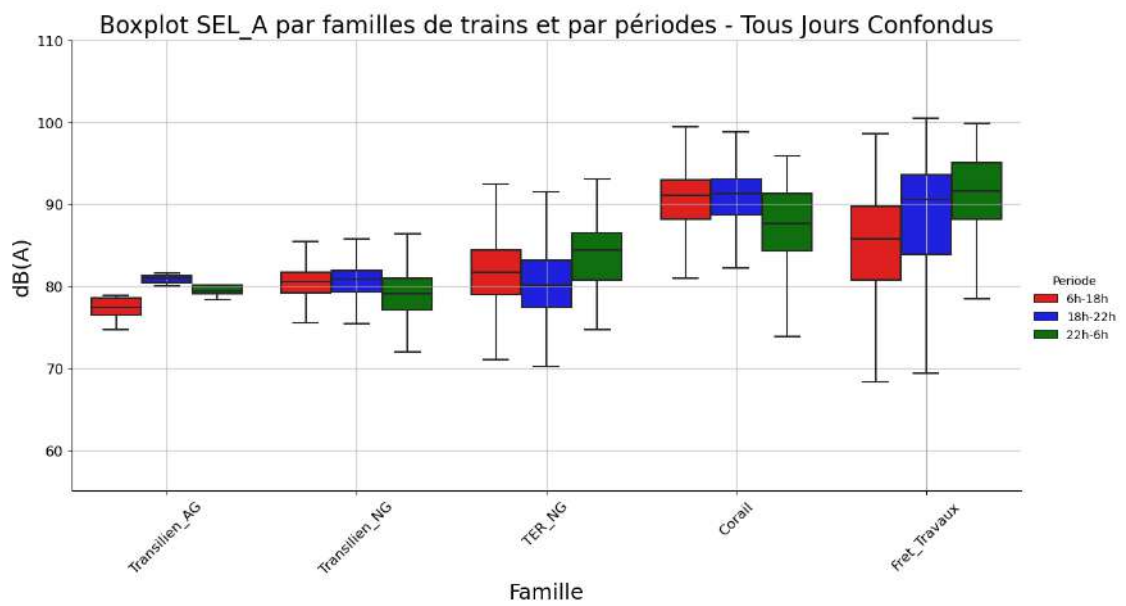
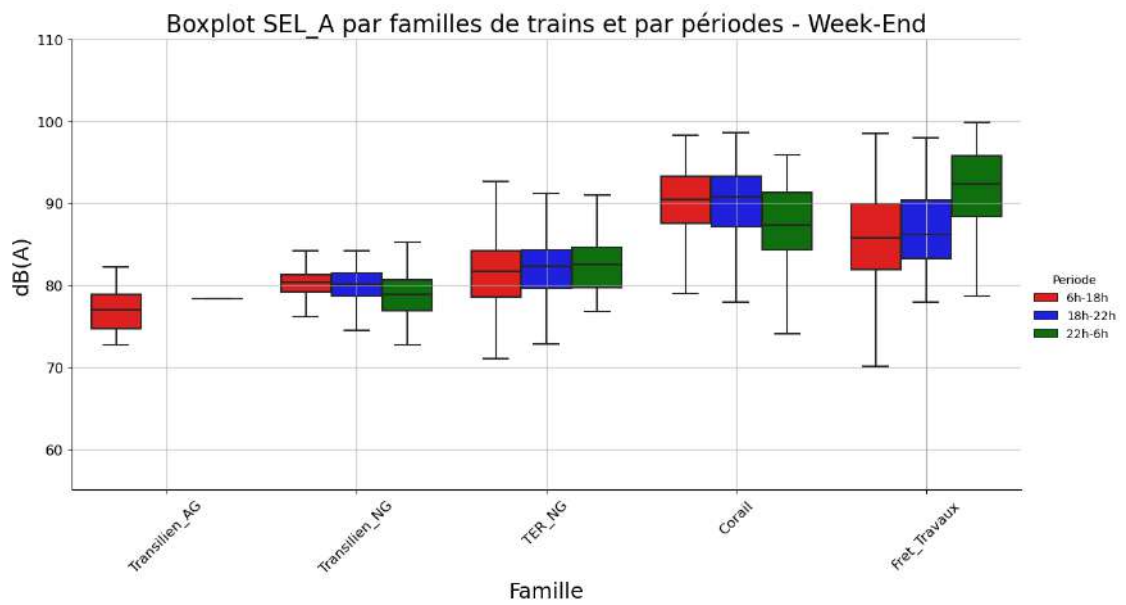
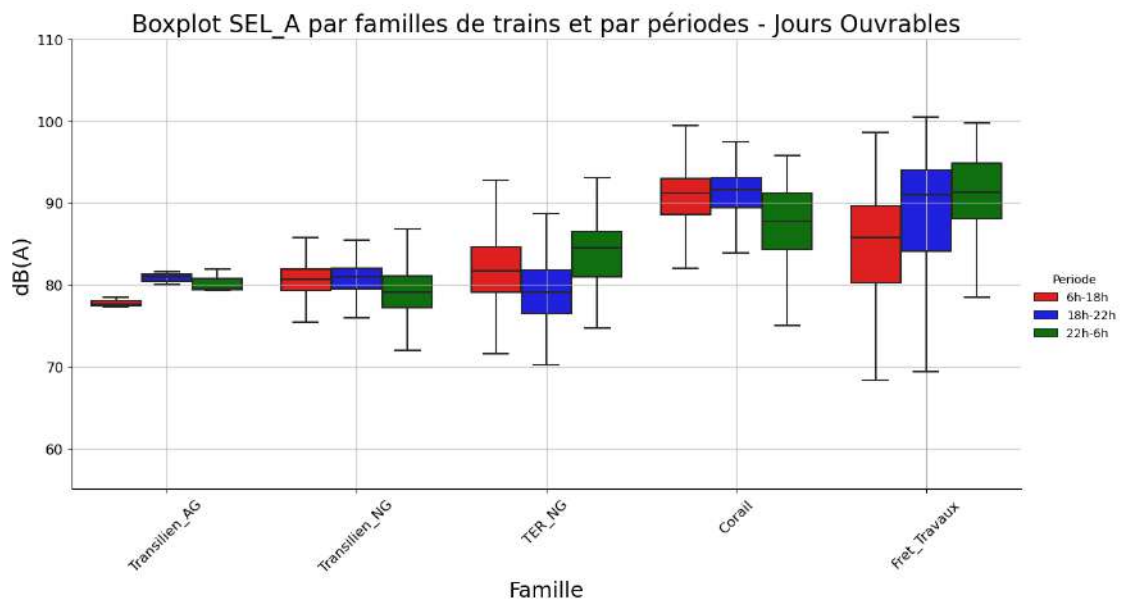
Niveaux de bruit, nombre d'événements ferroviaires et compteur à points (NPC) – Moyenne journalière par périodes

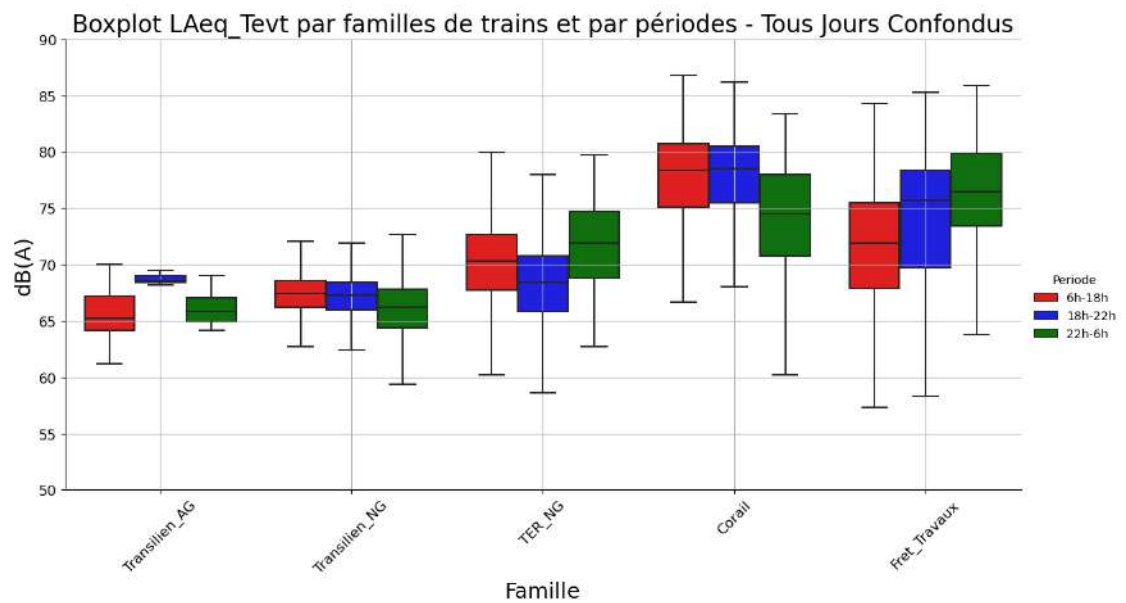
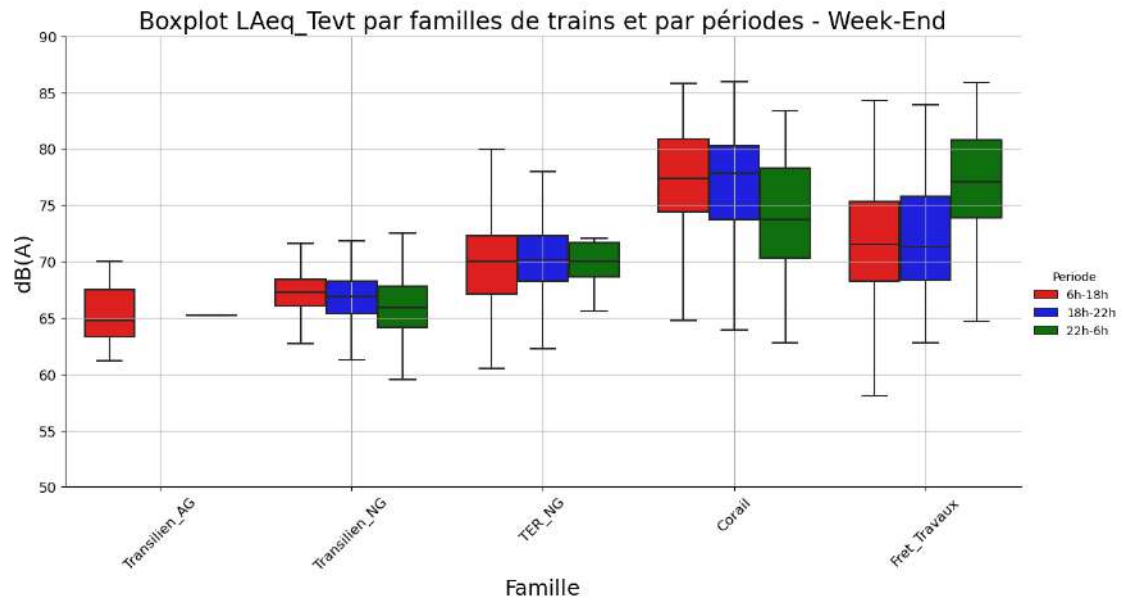
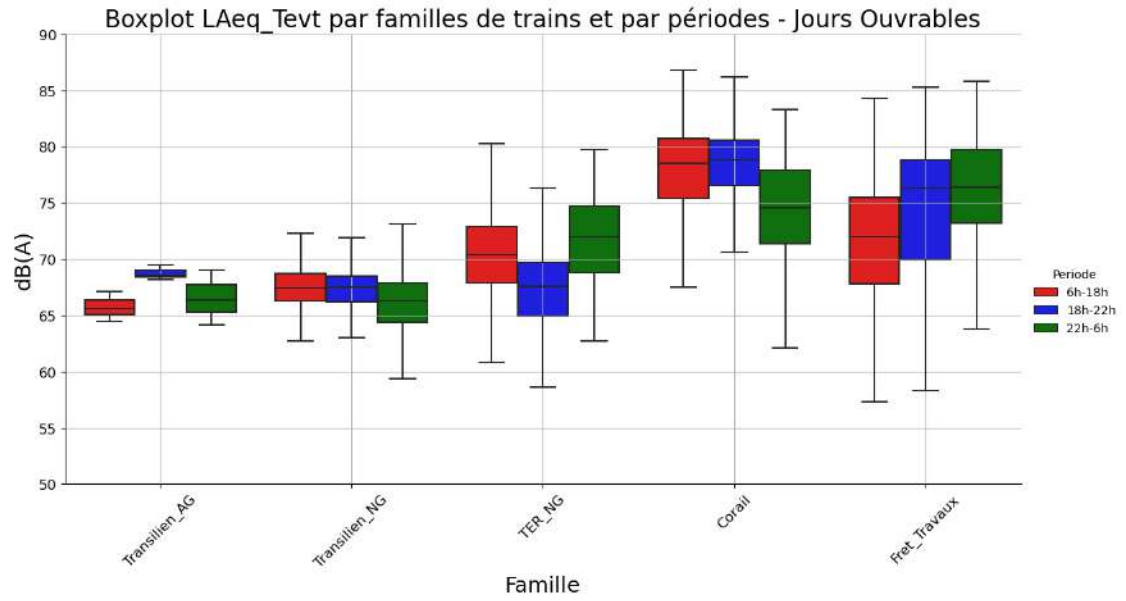
	TOUS JOURS CONFONDUS					JOURS OUVRABLES					WEEK-END				
	6h-18h	18h-22h	22h-6h	24h	DEN	6h-18h	18h-22h	22h-6h	24h	DEN	6h-18h	18h-22h	22h-6h	24h	DEN
Bruit ambiant (toutes sources sonores confondues) en dB(A)	60.9	62.4	58.0	60.5	65.6	61.2	62.6	58.3	60.8	65.9	60.0	61.6	56.9	59.6	64.6
Contribution du bruit ferroviaire en dB(A)	60.6	62.3	57.9	60.3	65.4	60.9	62.5	58.2	60.6	65.8	59.8	61.6	56.8	59.4	64.5
Contribution sonore énergétique du bruit ferroviaire dans le bruit ambiant en %	94%	98%	98%	96%	97%	93%	98%	97%	95%	97%	96%	98%	98%	97%	97%
Nombre total de trains détectés au niveau de la station de mesure	80	32	18	130	-	84	33	18	135	-	70	29	17	116	-
Nombre total de trains détectés au niveau de la gare la plus proche (SNCF-ORE)	84	32	17	133	-	88	33	17	138	-	75	30	16	121	-
Noise Point Counter (NPC) ou compteur d'événements sonores à points	323	132	80	534	-	341	137	84	562	-	277	120	70	467	-
Noise Point Counter (NPC) - moyenne horaire	27	33	10	22	-	28	34	10	23	-	23	30	9	19	-

DEN : Day-Evening-Night

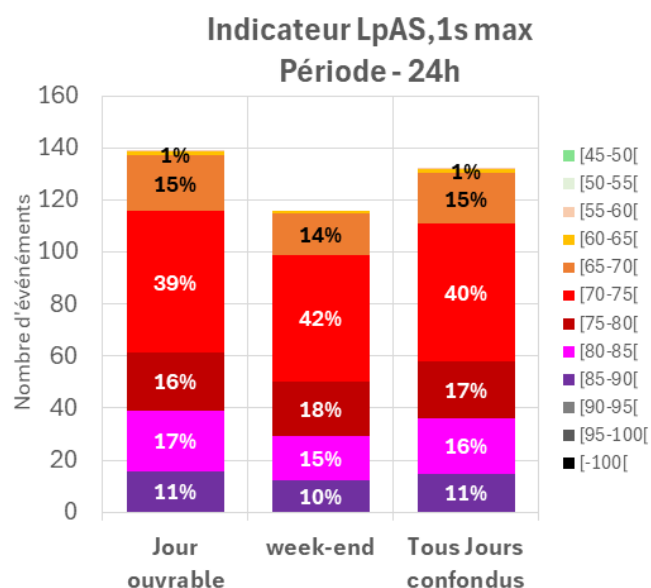
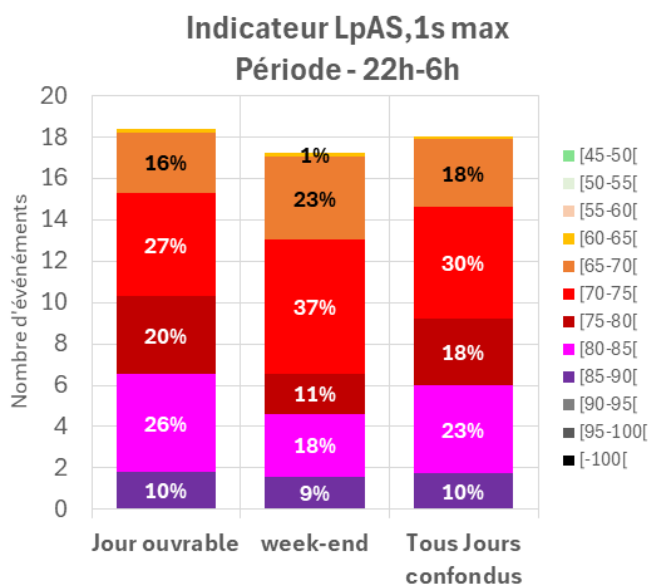
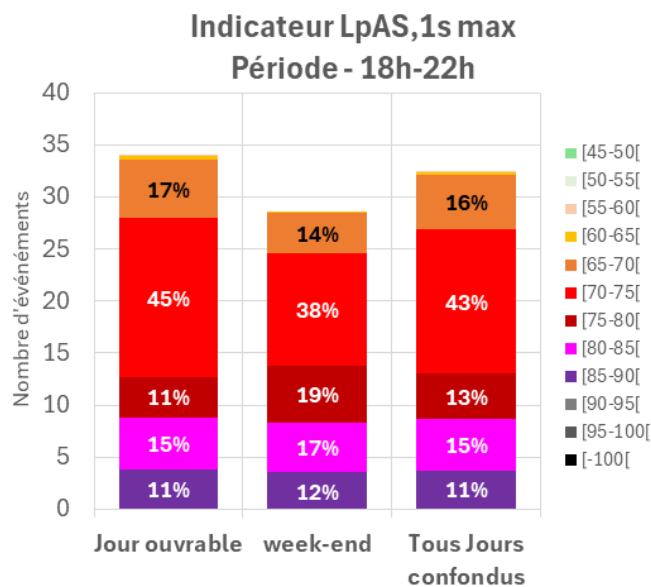
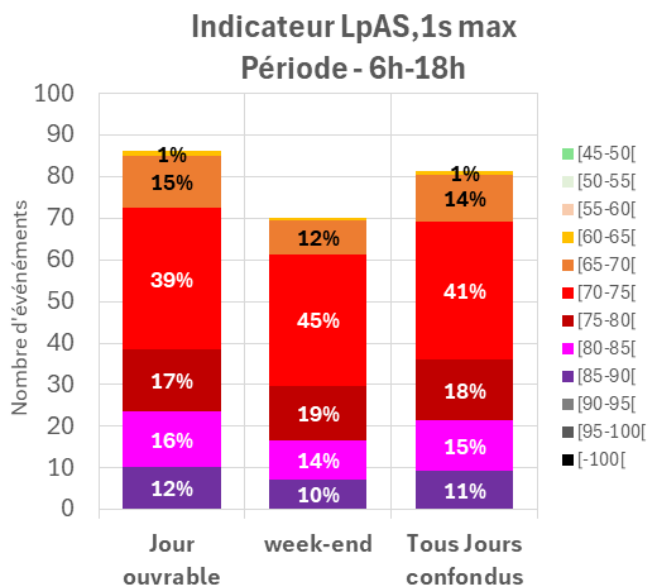
Statistiques par familles de trains, par périodes et par type de jour (boxplot)



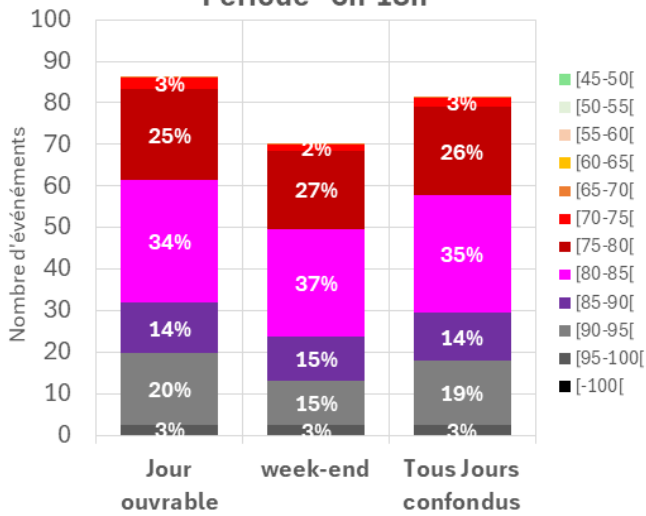




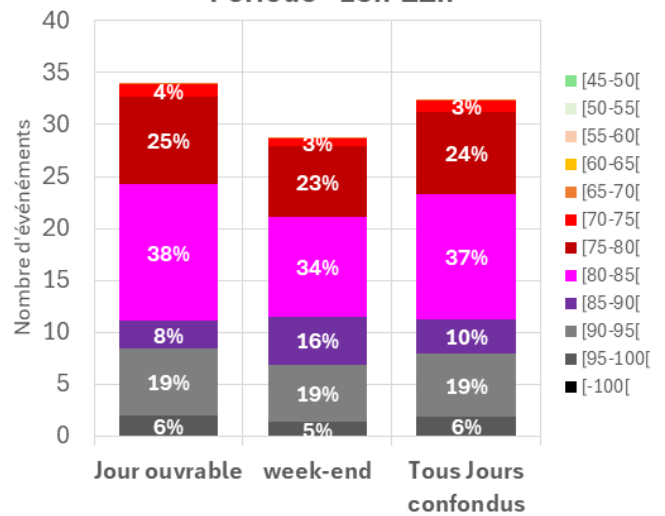
Distribution des indicateurs par plages de 5 dB par périodes



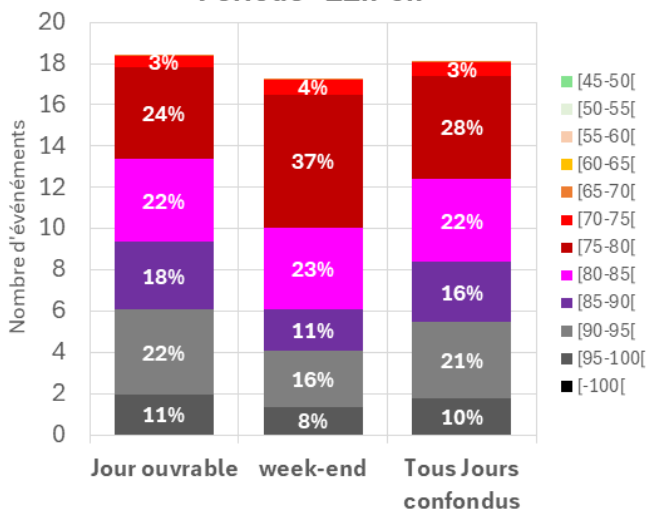
**Indicateur SEL
Période - 6h-18h**



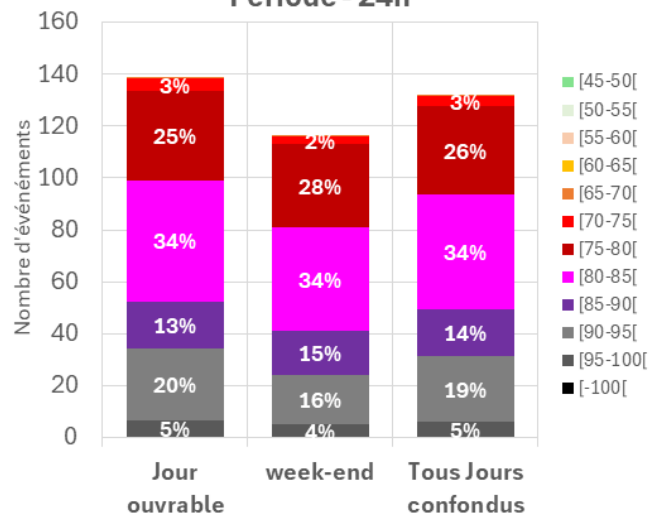
**Indicateur SEL
Période - 18h-22h**



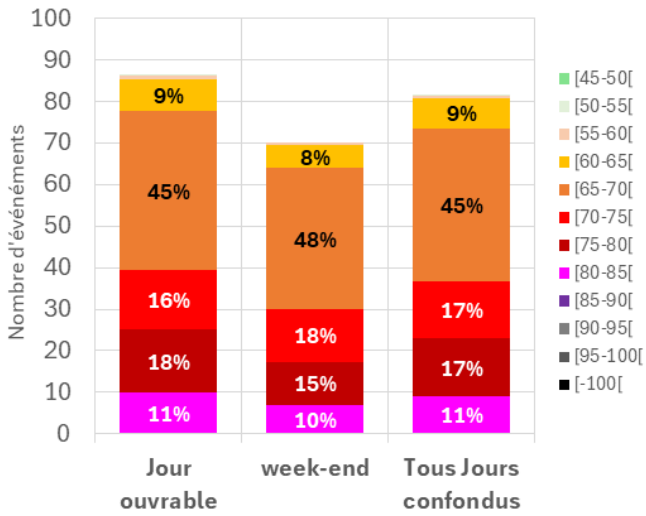
**Indicateur SEL
Période - 22h-6h**



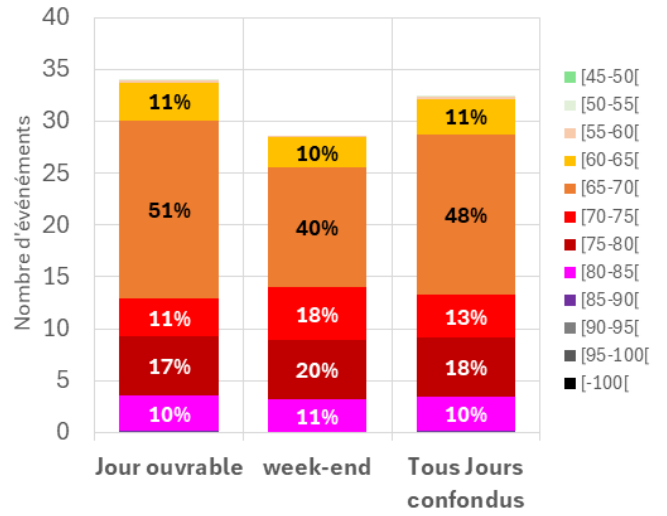
**Indicateur SEL
Période - 24h**



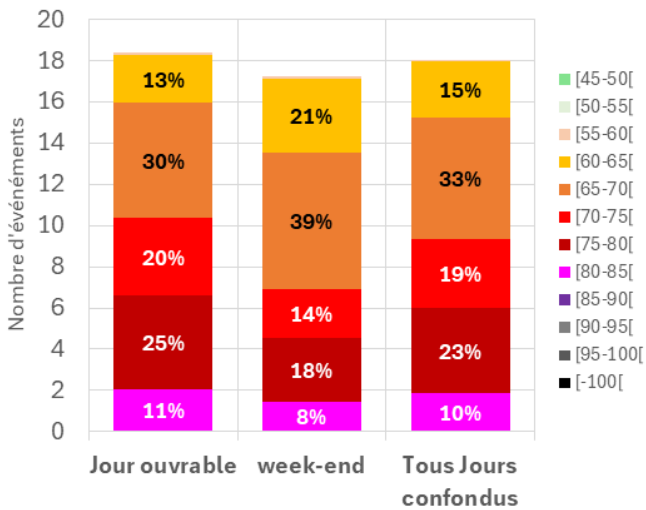
**Indicateur LAeq,Tevt
Période - 6h-18h**



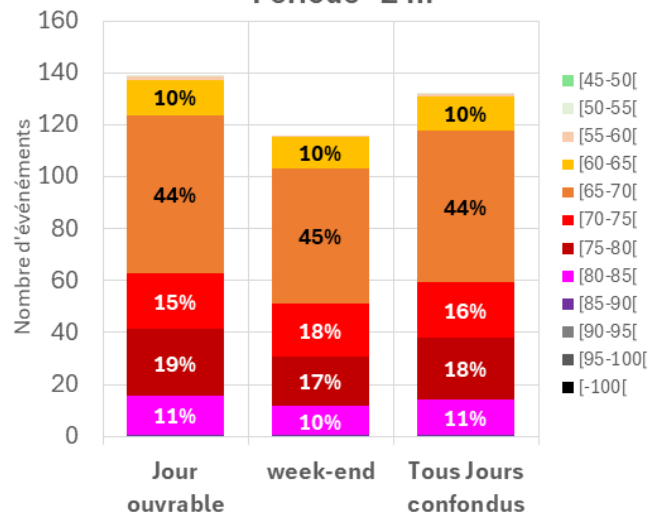
**Indicateur LAeq,Tevt
Période - 18h-22h**



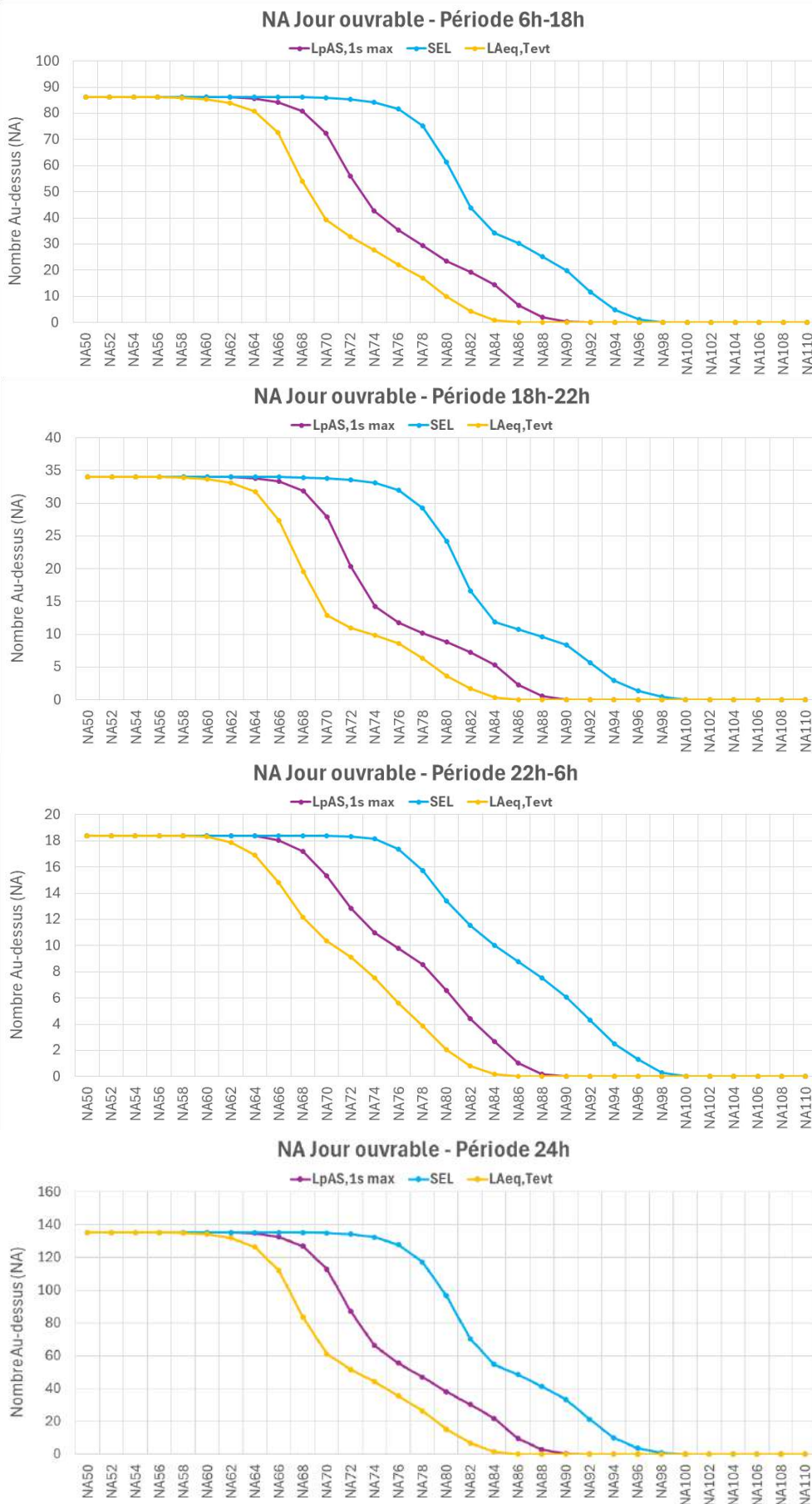
**Indicateur LAeq,Tevt
Période - 22h-6h**

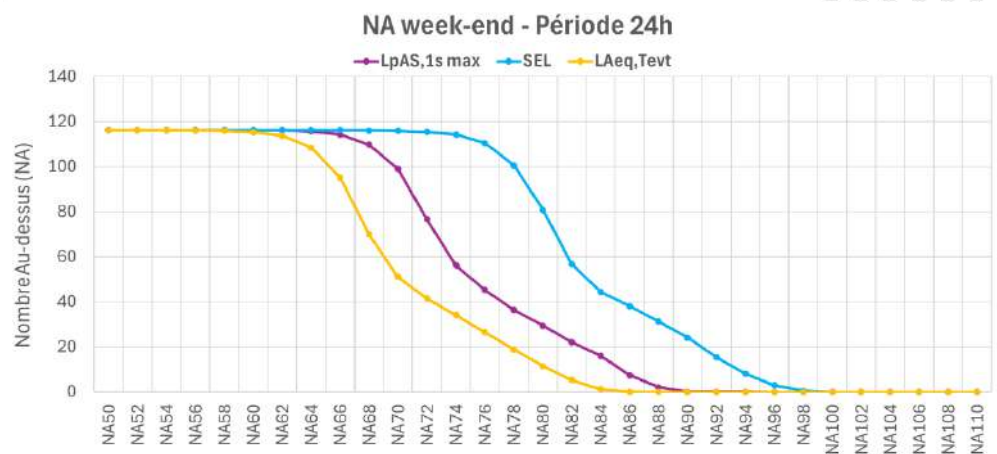
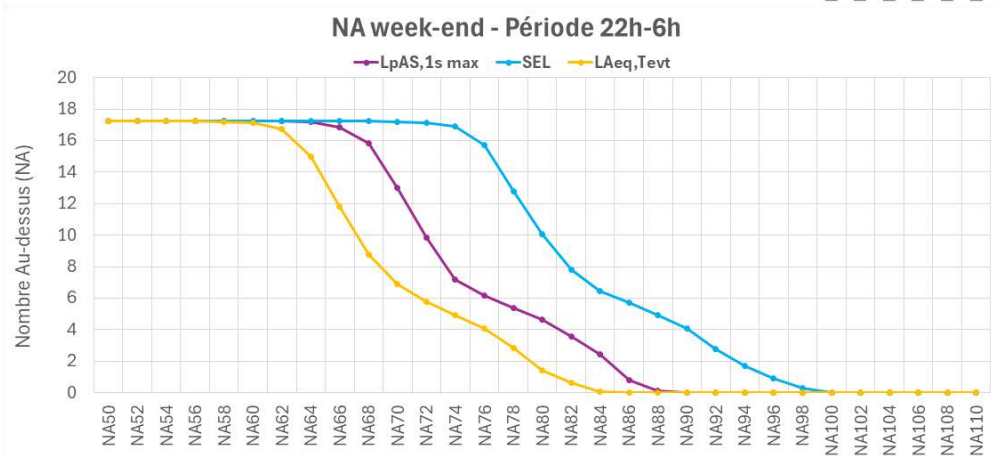
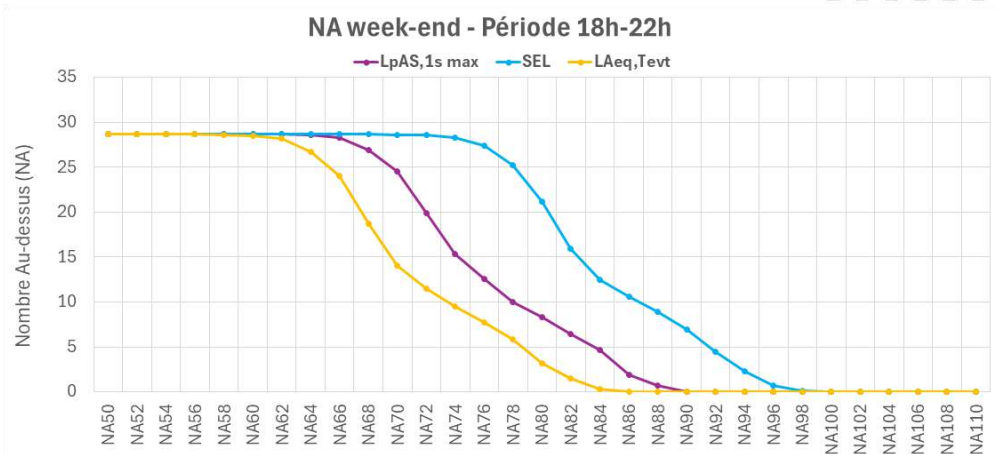
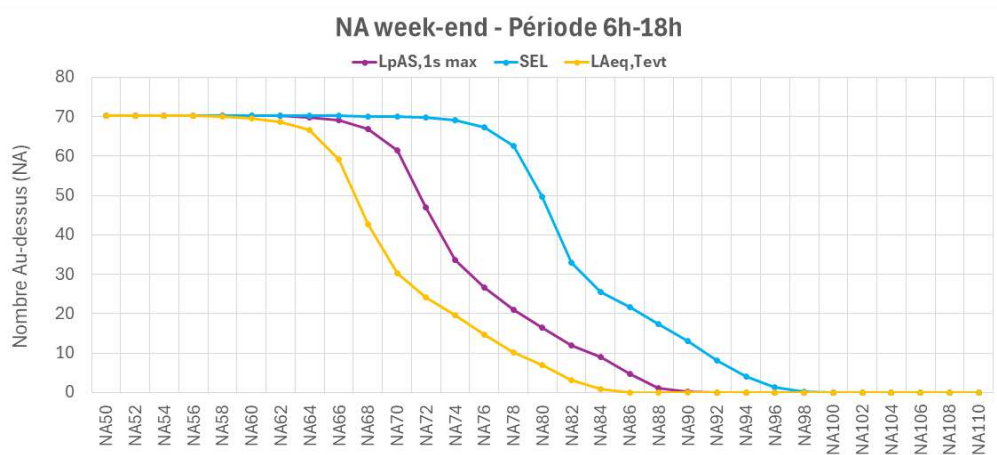


**Indicateur LAeq,Tevt
Période - 24h**

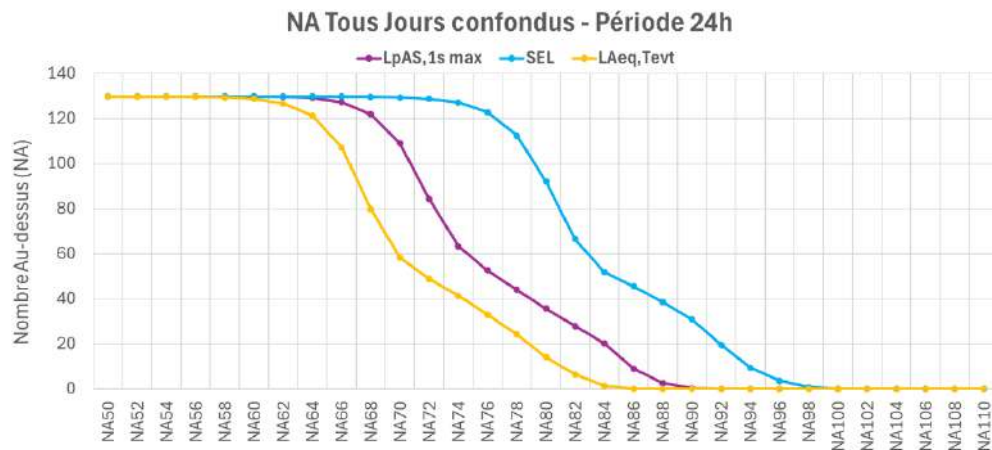
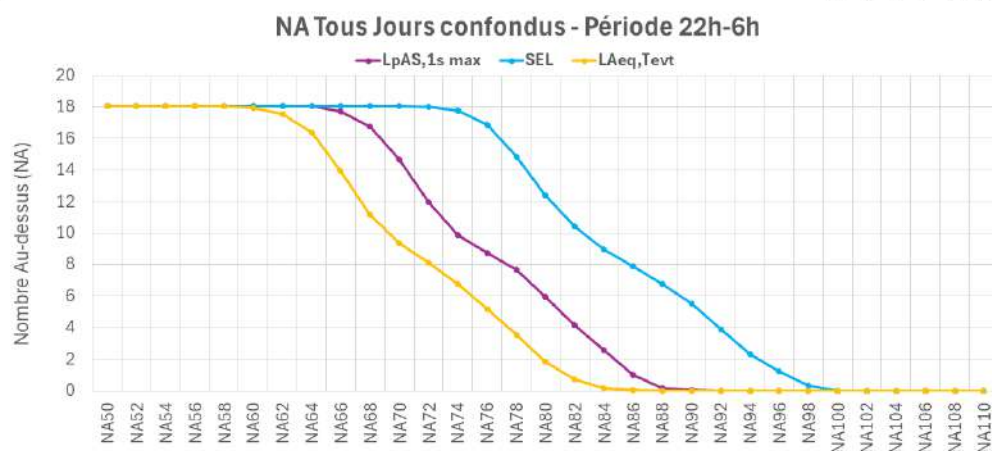
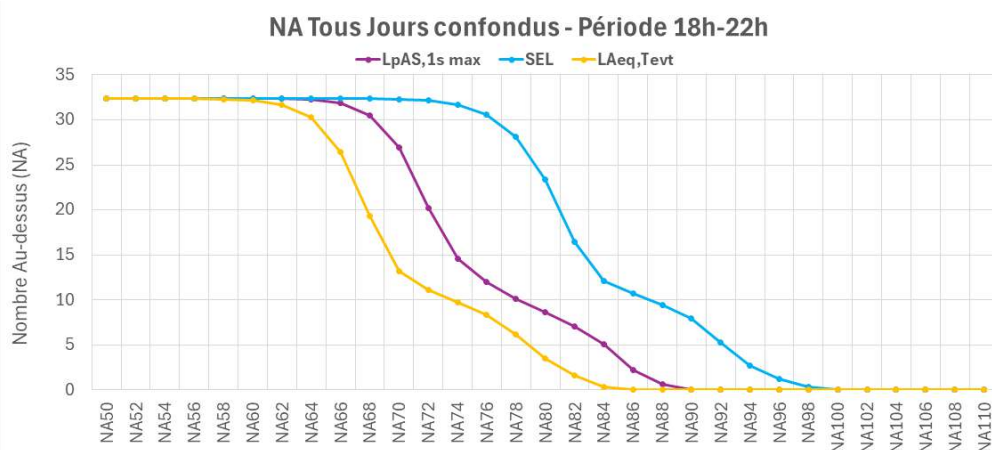
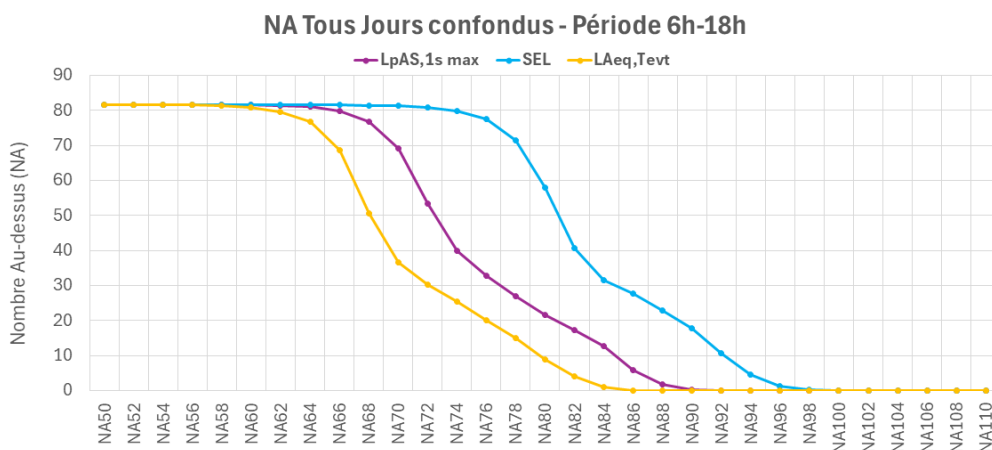


JOURS OUVRABLES





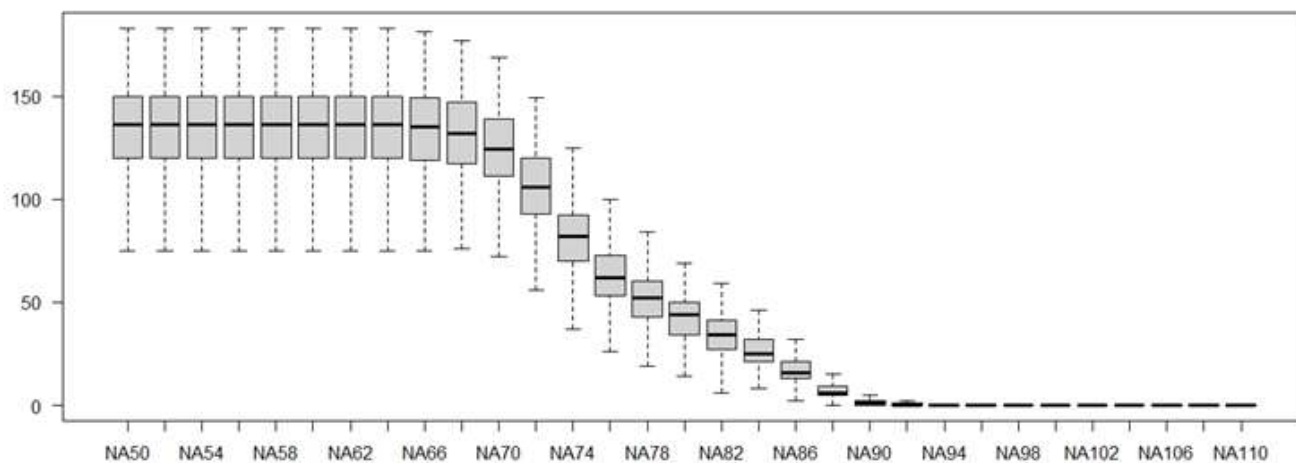
TOUS JOURS CONFONDUS



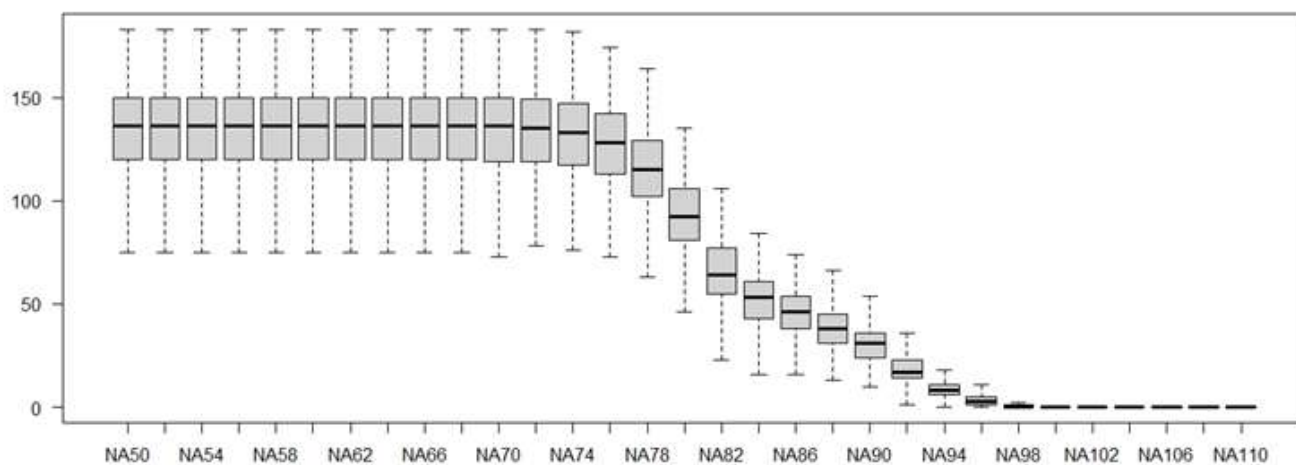
Variabilité des indicateurs NAX au cours de la période d'expérimentation

Variations des indicateurs NAX au cours des 6 mois d'expérimentation du 1^{er} novembre 2022 au 30 avril 2023
Tous Jours Confondus

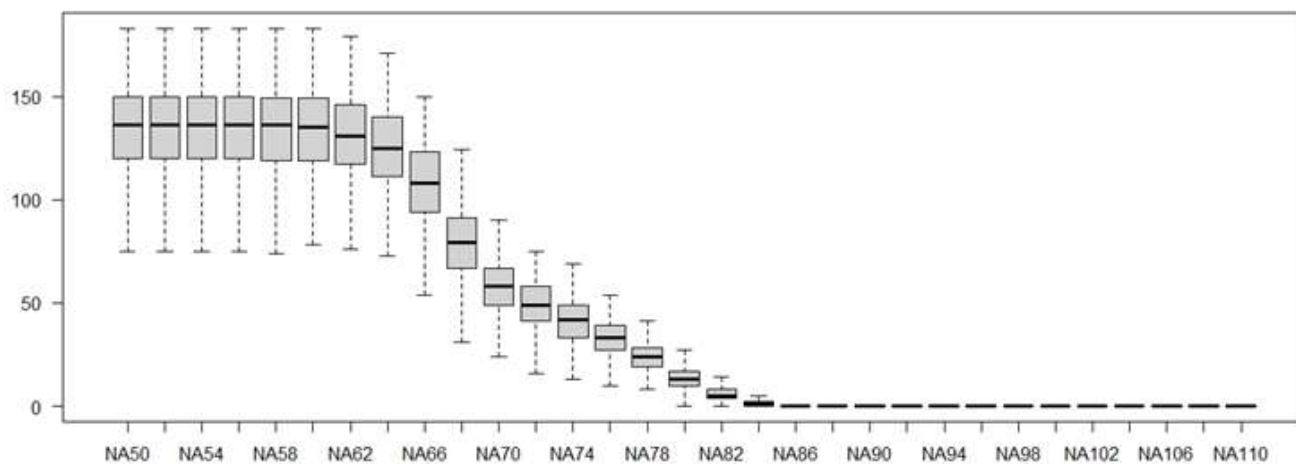
Distribution boxplot des NAX en LAmx



Distribution boxplot des NAX en SEL



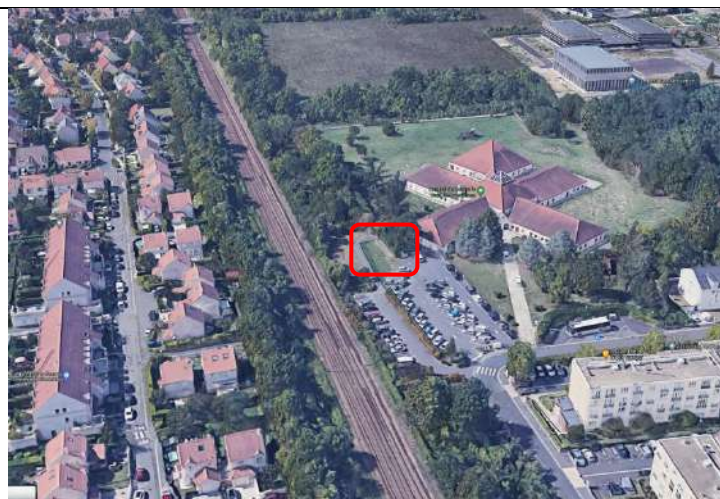
Distribution boxplot des NAX en LAeq,evt



Descriptif du site de mesure



Vue de la station de mesure



Vue du site

Nom usuel du site	Herblay
Nom du site (nomenclature gestionnaire)	95220-HERBLAY-CHATEAUBRIAND
Département	77
Coordonnées_Lat_Long	48.99476, 2.14702
Adresse	1 rue de Chateaubriand
Code Postal	95220
Ville	Herblay
Gestionnaire des voies	SNCF-Réseau
Numéro de ligne	334000
Type de site	Péri-urbain
Vitesse maximale de circulation (en km/h)	130
Vitesse moyenne réelle de la ligne (mesurée) en km/h	Non disponible
Classement sonore de la voie	Catégorie 1
Distance du récepteur à la voie la plus proche (en mètres)	25
Hauteur du récepteur par rapport au sol (en mètres)	4
Type de mesure (champ libre / façade)	Champ libre
Nombre de voies	2
Type traverses	Béton - bi-bloc
Présence d'une protection acoustique (écran, merlon...)	Non
Hauteur terrain récepteur par rapport hauteur terrain voies (en mètres)	0
Autres sources potentielles de bruit 1	Survols en arrivées face à l'est sur Paris-CDG
Autres sources potentielles de bruit 2	Parking centre de loisirs
Autres sources potentielles de bruit 3	Centre de loisirs
Autres sources potentielles de bruit 4	Trafic routier
Date de début des mesures	01/10/2022
Date de fin des mesures	30/04/2023
Durée totale de la mesure exploitée (en jours)	181

Trafic ferroviaire moyen pendant l'expérimentation (sur la période de mesure exploitée)

Catégorie	Période	Trafic Moyen Journalier		
		Tous Jours Confondus	Jours Ouvrables	Week-End
Tous types de matériels confondus	Journée 6h-18h	121	131	98
	Soirée 18h-22h	48	53	34
	Nuit 22h-6h	26	28	22
	Total 24 heures	195	211	155
Transilien / RER	Journée 6h-18h	116	128	87
	Soirée 18h-22h	45	50	32
	Nuit 22h-6h	22	23	20
	Total 24 heures	184	202	139
TER / Intercités	Journée 6h-18h	3	1	9
	Soirée 18h-22h	1	0	2
	Nuit 22h-6h	0	0	1
	Total 24 heures	4	1	12
Corail	Journée 6h-18h	0	0	0
	Soirée 18h-22h	0	0	0
	Nuit 22h-6h	0	0	0
	Total 24 heures	0	0	0
TaGV	Journée 6h-18h	0	0	0
	Soirée 18h-22h	0	0	0
	Nuit 22h-6h	0	0	0
	Total 24 heures	0	0	0
Fret / travaux	Journée 6h-18h	2	2	2
	Soirée 18h-22h	1	2	0
	Nuit 22h-6h	4	5	1
	Total 24 heures	7	9	3
Métro	Journée 6h-18h	0	0	0
	Soirée 18h-22h	0	0	0
	Nuit 22h-6h	0	0	0
	Total 24 heures	0	0	0
Tramway	Journée 6h-18h	0	0	0
	Soirée 18h-22h	0	0	0
	Nuit 22h-6h	0	0	0
	Total 24 heures	0	0	0

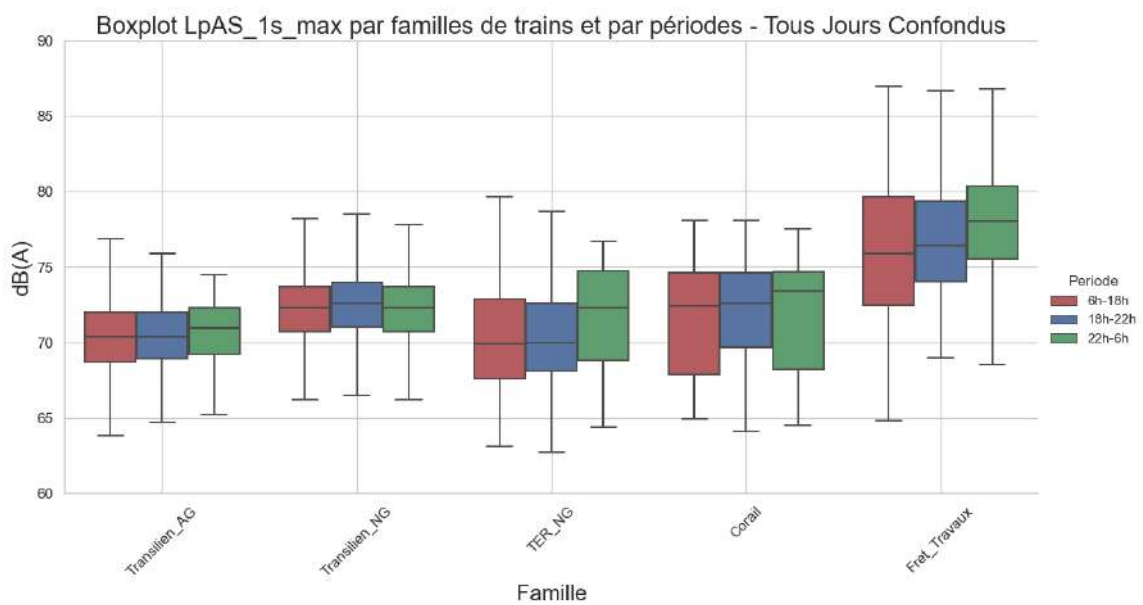
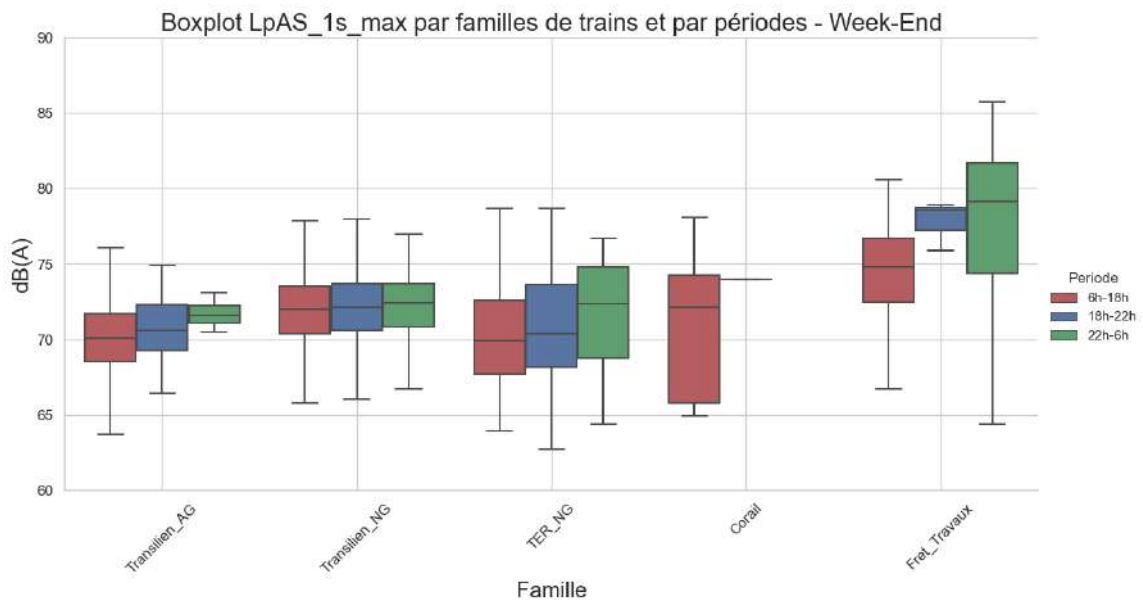
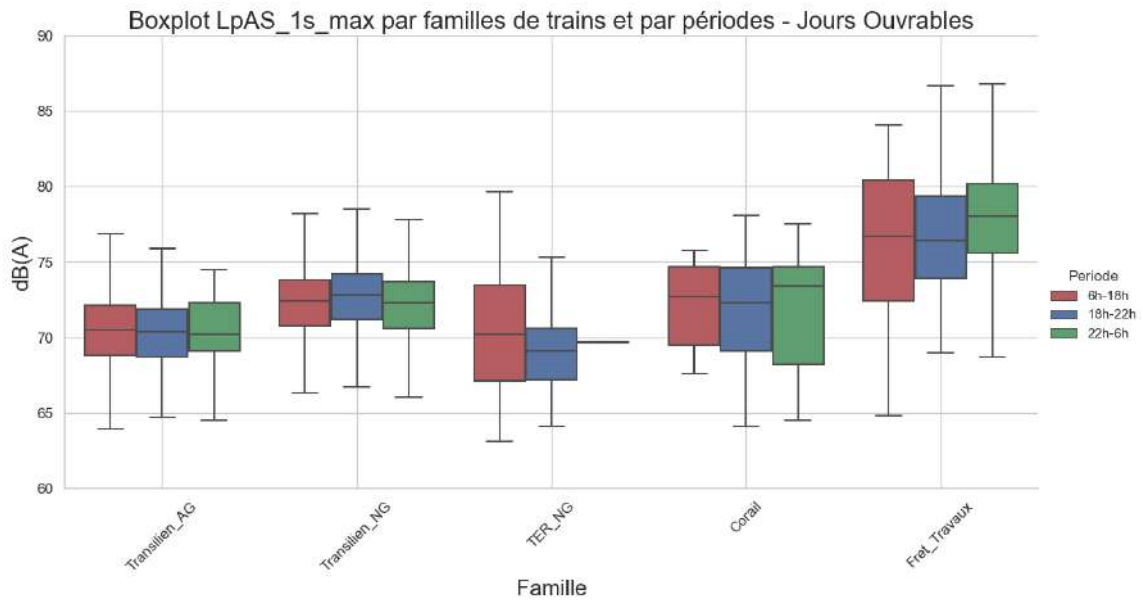
Données ORE – SNCF-Réseau

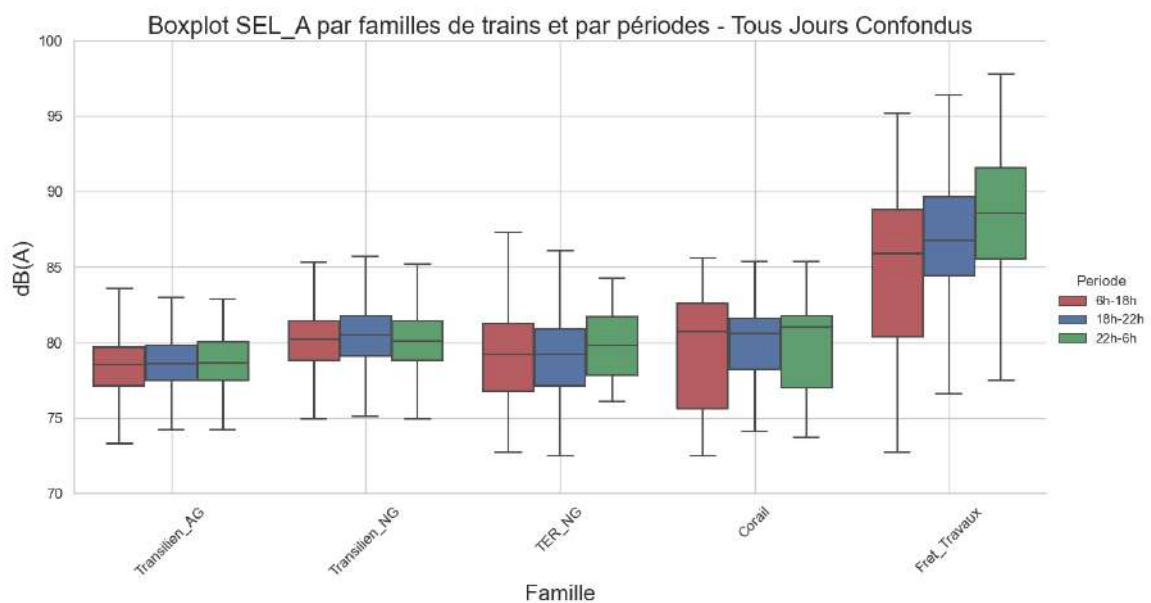
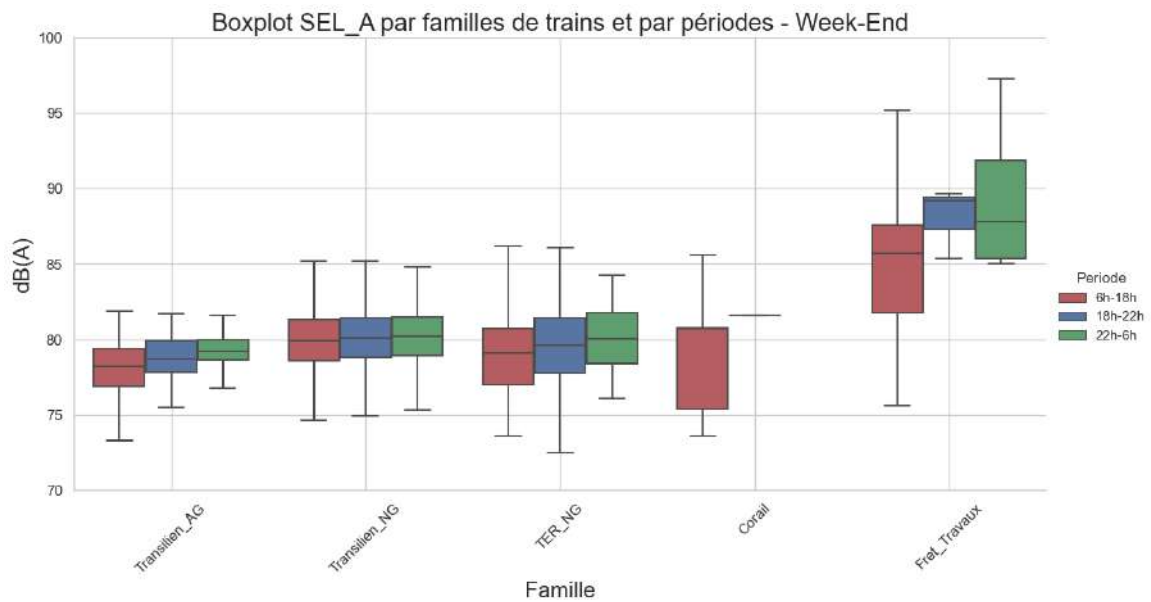
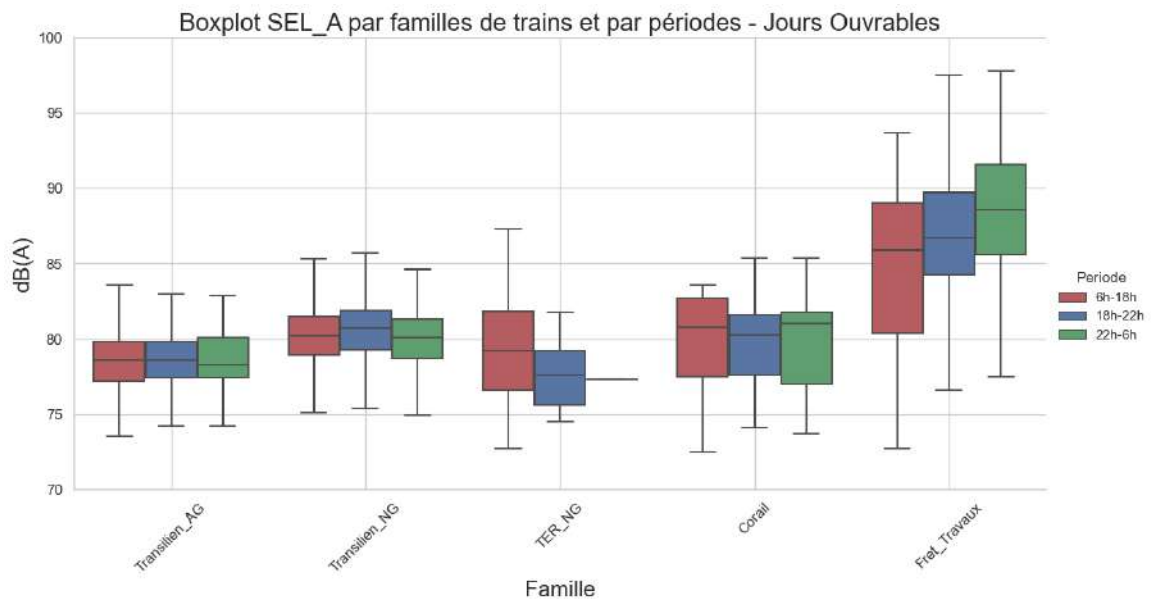
Niveaux de bruit, nombre d'événements ferroviaires et compteur à points (NPC) – Moyenne journalière par périodes

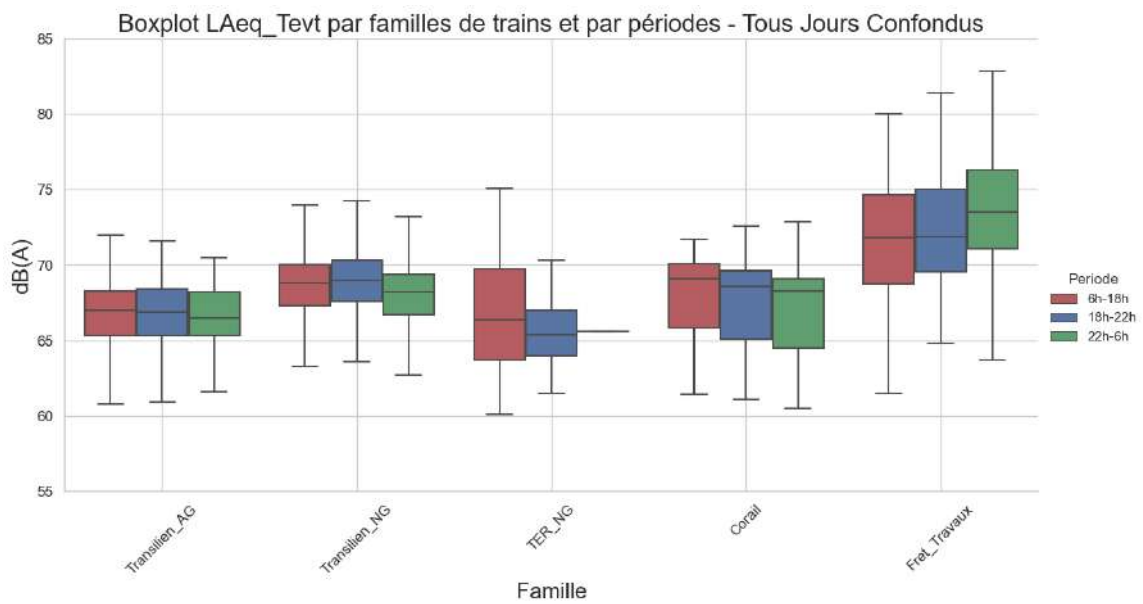
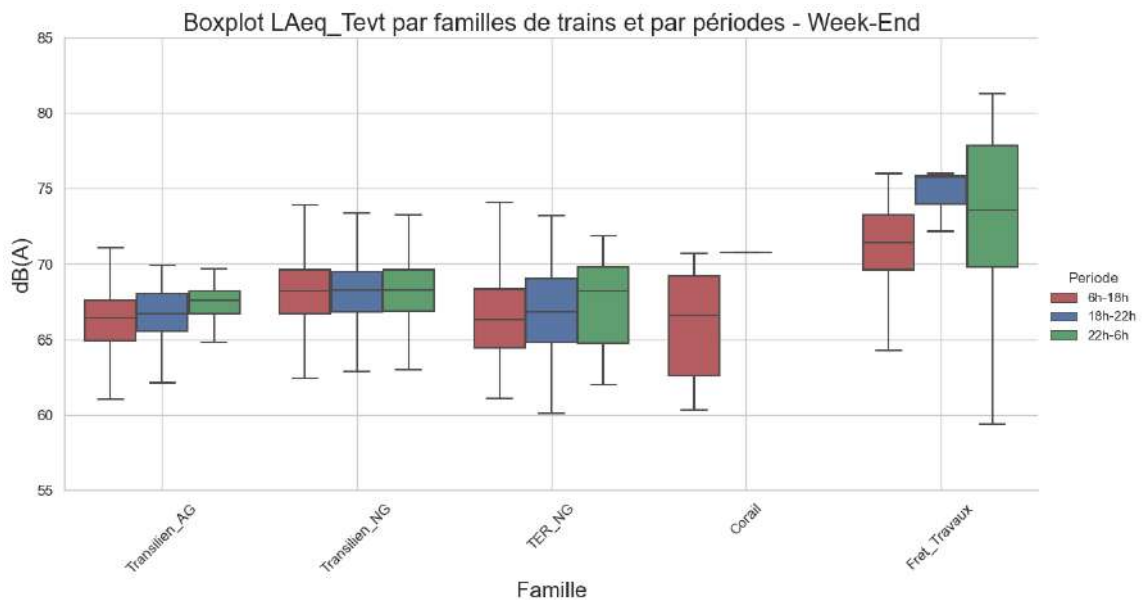
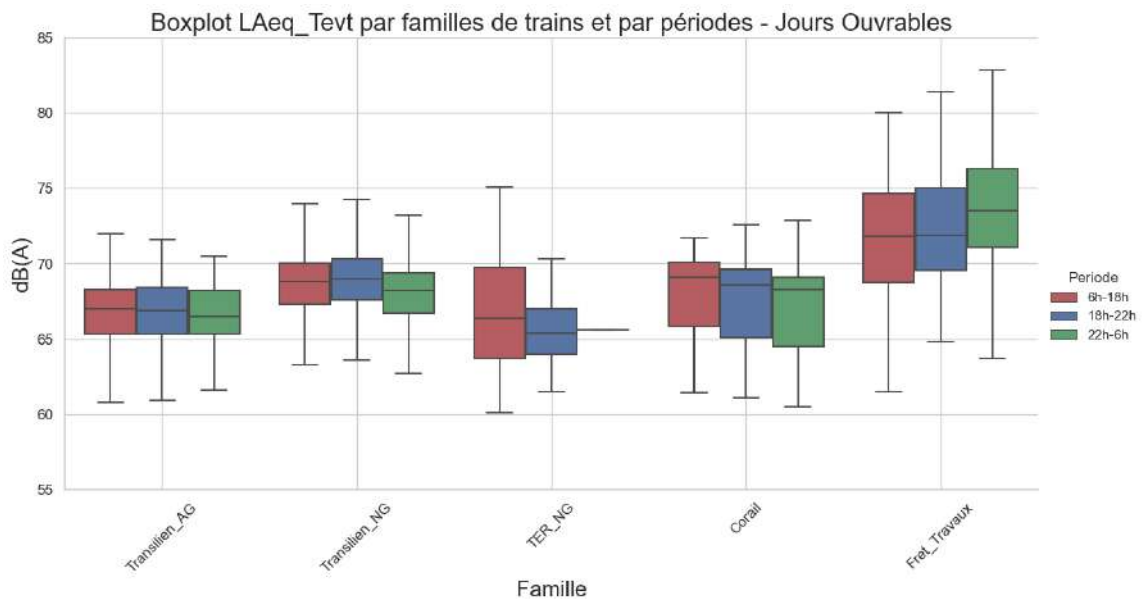
	TOUS JOURS CONFONDUS					JOURS OUVRABLES					WEEK-END				
	6h-18h	18h-22h	22h-6h	24h	DEN	6h-18h	18h-22h	22h-6h	24h	DEN	6h-18h	18h-22h	22h-6h	24h	DEN
Bruit ambiant (toutes sources sonores confondues) en dB(A)	56.3	57.2	54.4	55.9	61.5	56.7	57.8	55.0	56.5	62.1	54.9	54.8	52.4	54.2	59.5
Contribution du bruit ferroviaire en dB(A)	55.2	56.7	53.9	55.1	60.9	55.7	57.4	54.6	55.7	61.6	53.9	54.0	51.7	53.3	58.8
Contribution sonore énergétique du bruit ferroviaire dans le bruit ambiant en %	78%	89%	90%	83%	88%	78%	90%	91%	84%	89%	79%	83%	86%	82%	85%
Nombre total de trains détectés au niveau de la station de mesure	120	47	27	193	-	130	52	28	210	-	95	34	23	152	-
Nombre total de trains détectés au niveau de la gare la plus proche (SNCF-ORE)	121	48	26	195	-	131	53	28	211	-	98	34	22	155	-
Noise Point Counter (NPC) ou compteur d'événements sonores à points	340	138	85	563	-	370	155	91	616	-	265	95	70	430	-
Noise Point Counter (NPC) - moyenne horaire	28	34	11	23	-	31	39	11	26	-	22	24	9	18	-

DEN : Day-Evening-Night

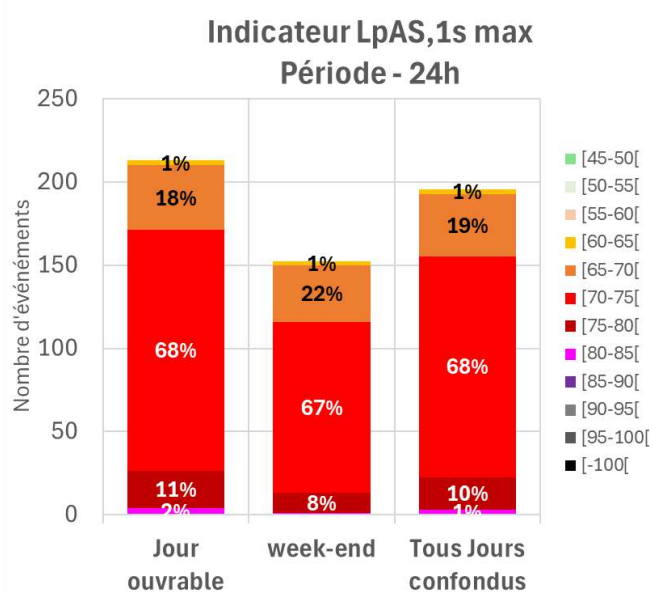
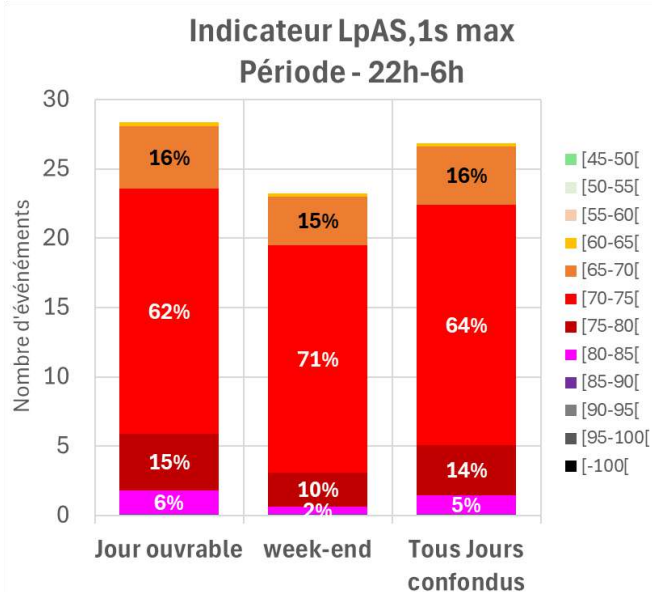
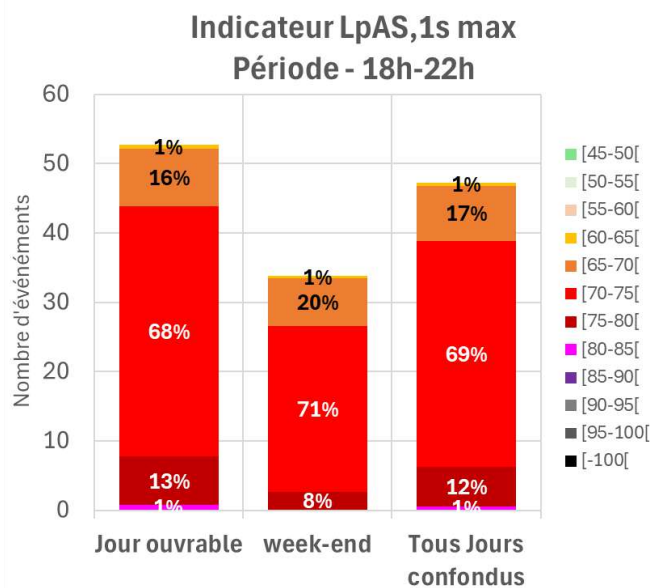
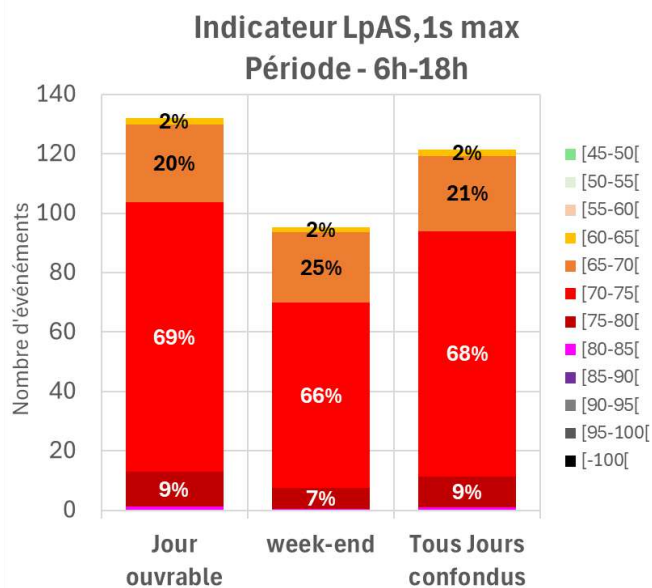
Statistiques par familles de trains, par périodes et par type de jour (boxplot)



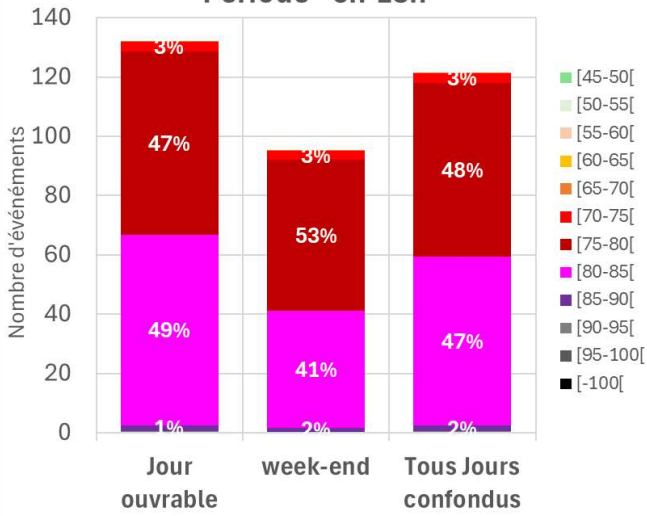




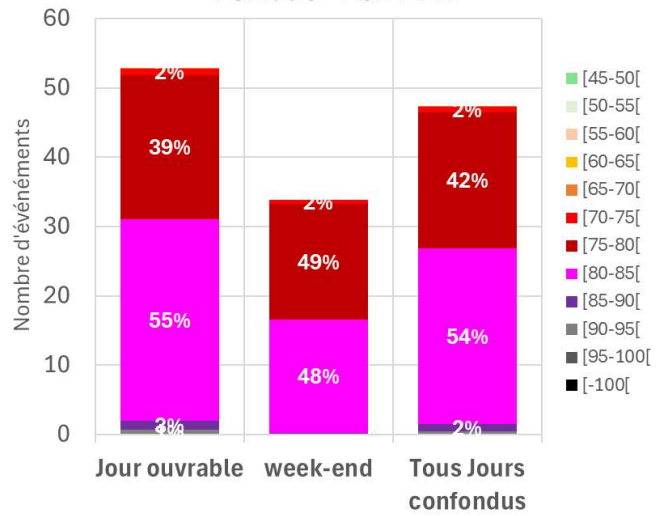
Distribution des indicateurs par plages de 5 dB par périodes



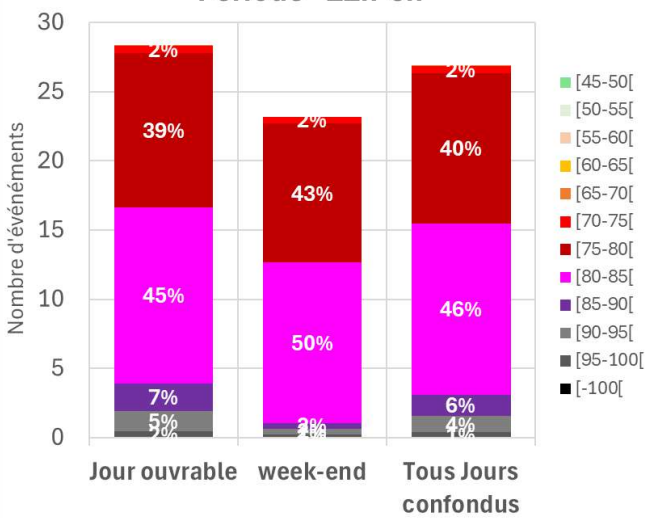
**Indicateur SEL
Période - 6h-18h**



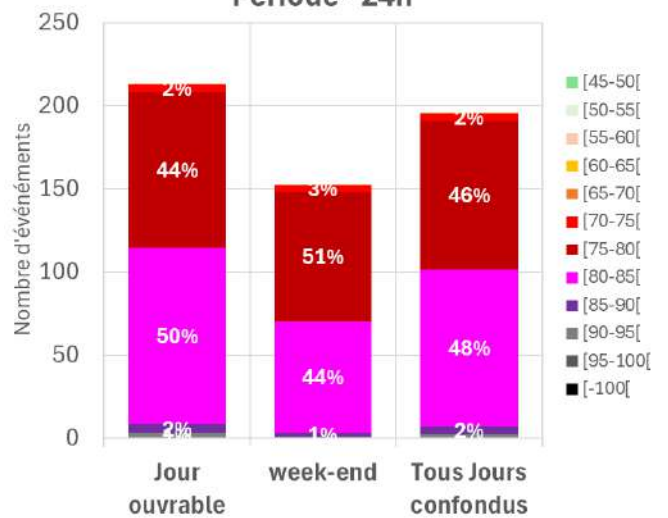
**Indicateur SEL
Période - 18h-22h**



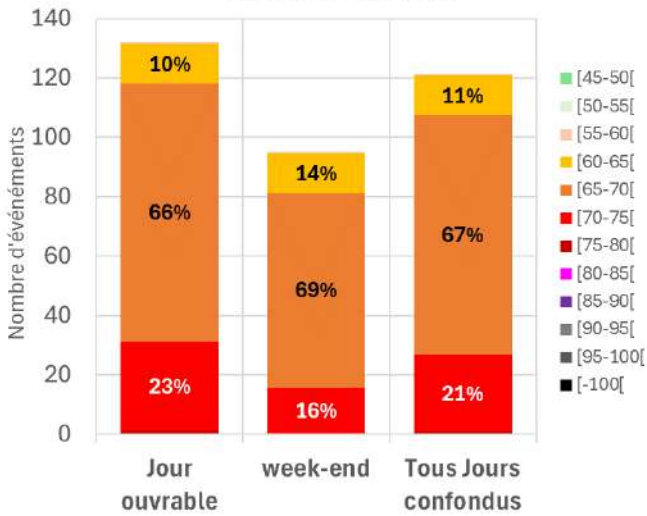
**Indicateur SEL
Période - 22h-6h**



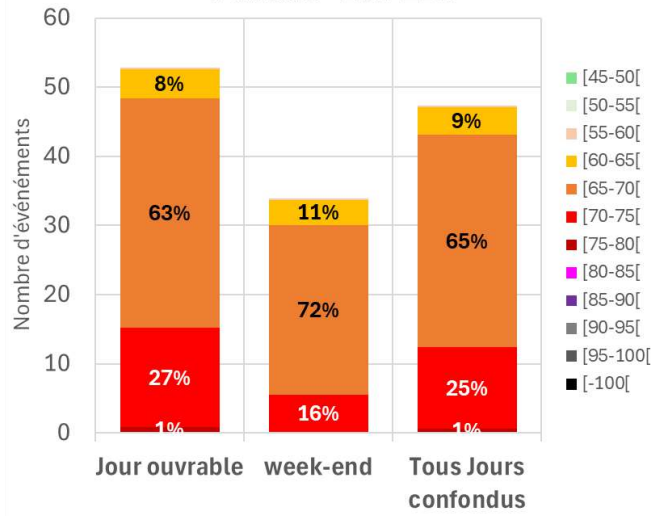
**Indicateur SEL
Période - 24h**



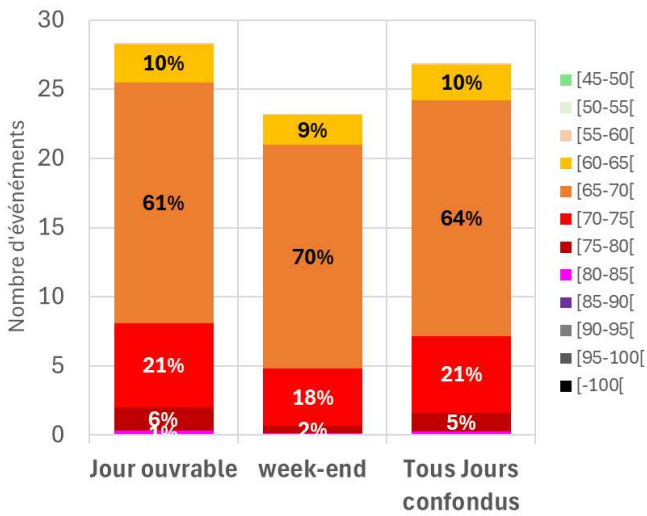
**Indicateur LAeq,Tevt
Période - 6h-18h**



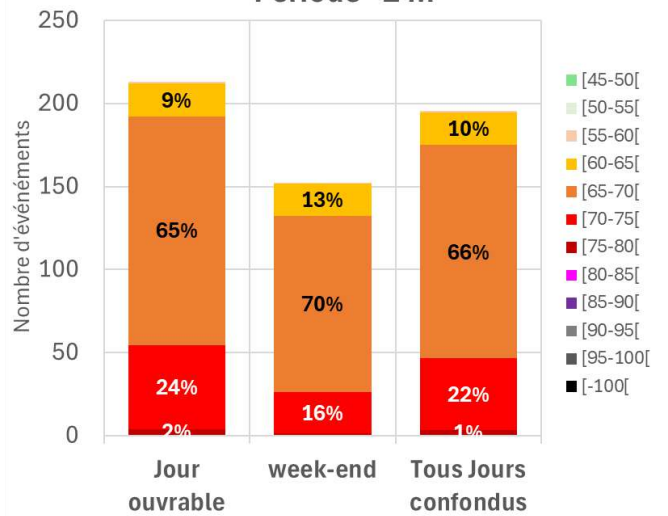
**Indicateur LAeq,Tevt
Période - 18h-22h**



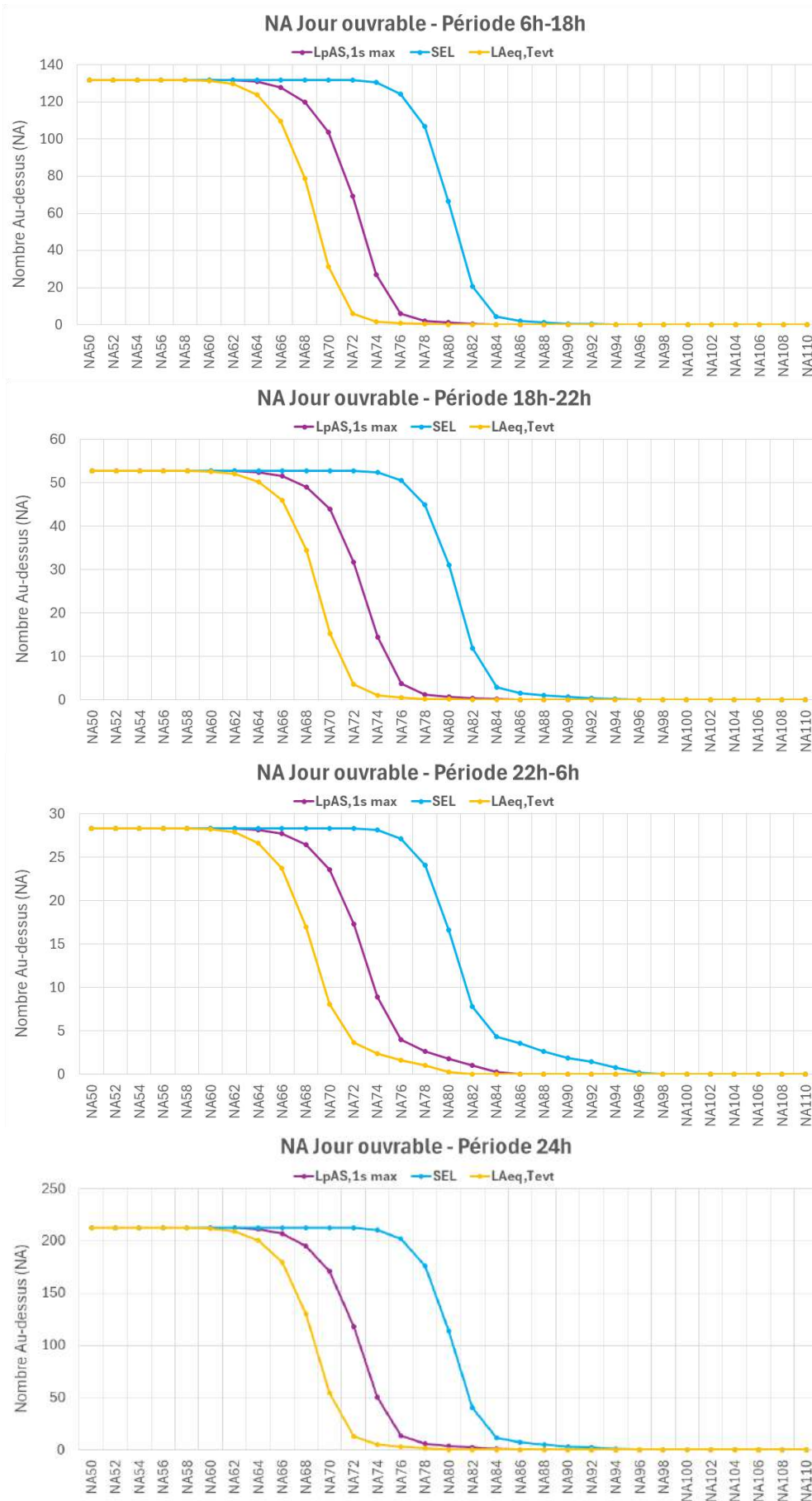
**Indicateur LAeq,Tevt
Période - 22h-6h**

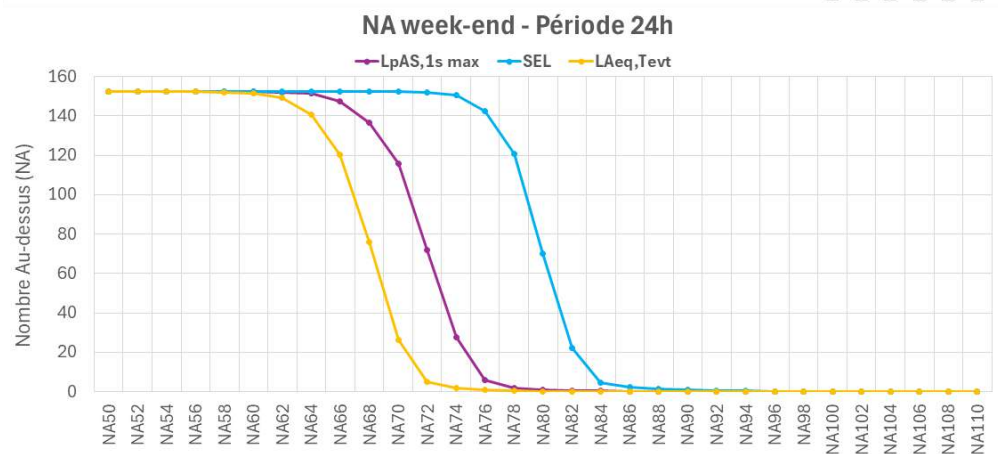
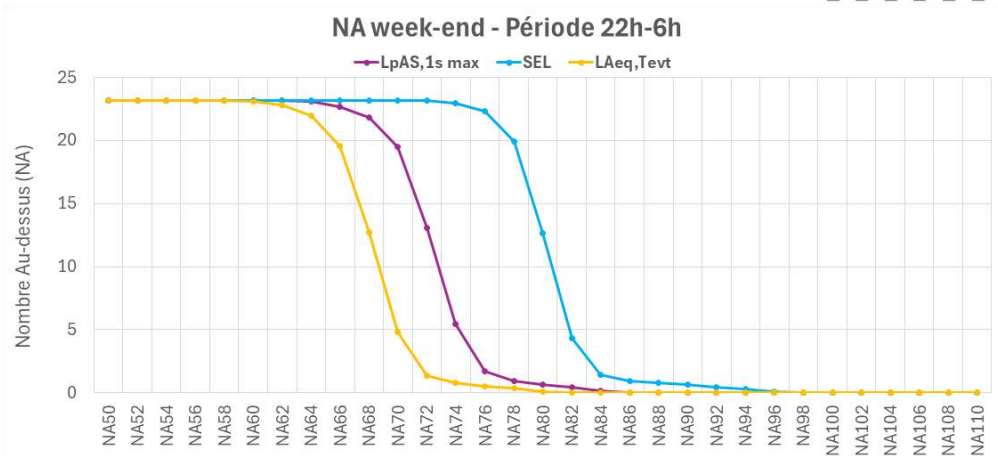
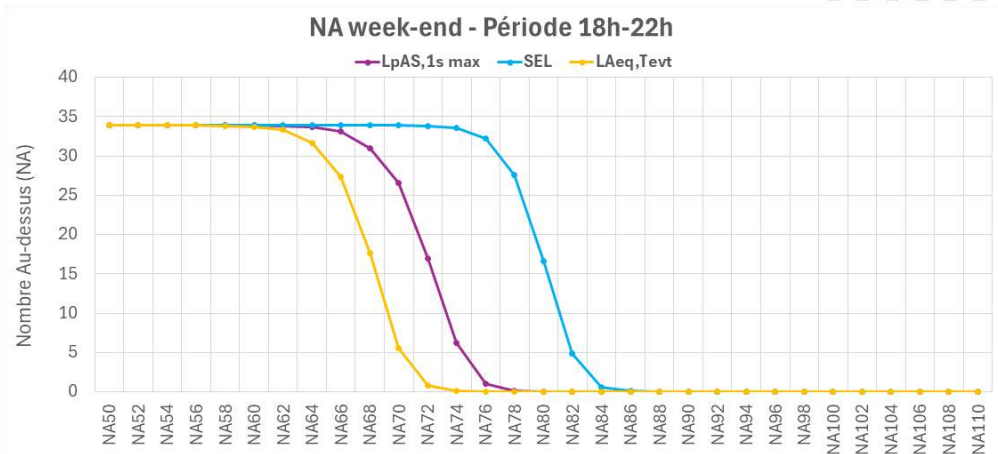
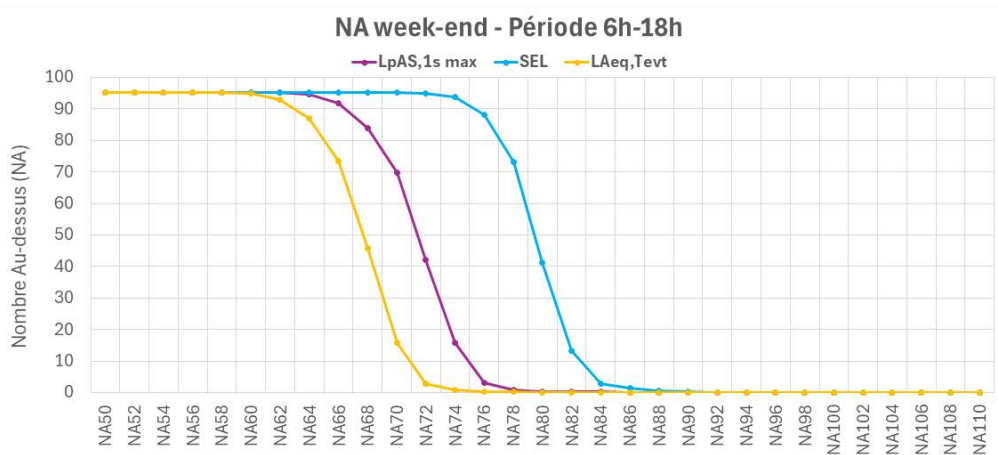


**Indicateur LAeq,Tevt
Période - 24h**

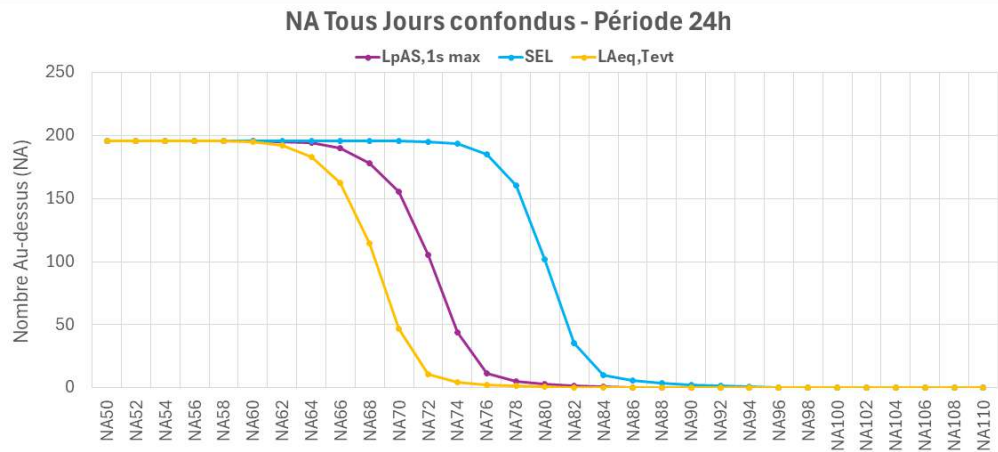
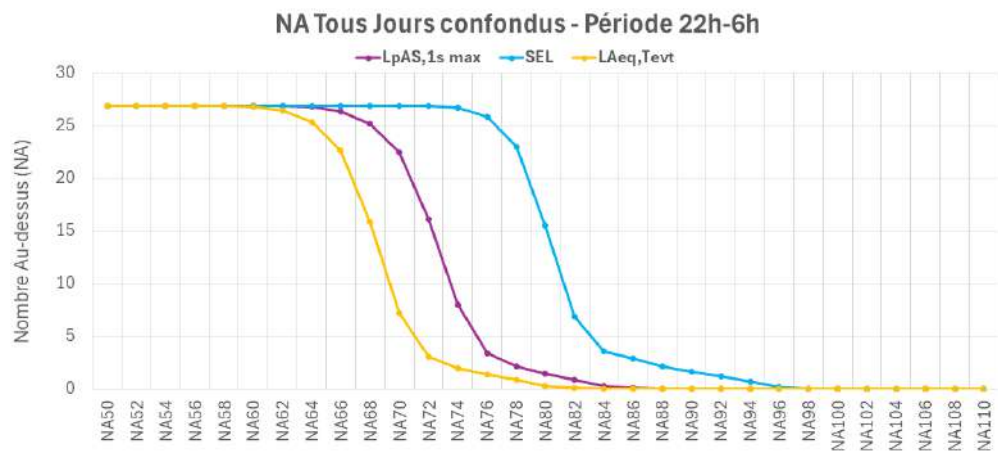
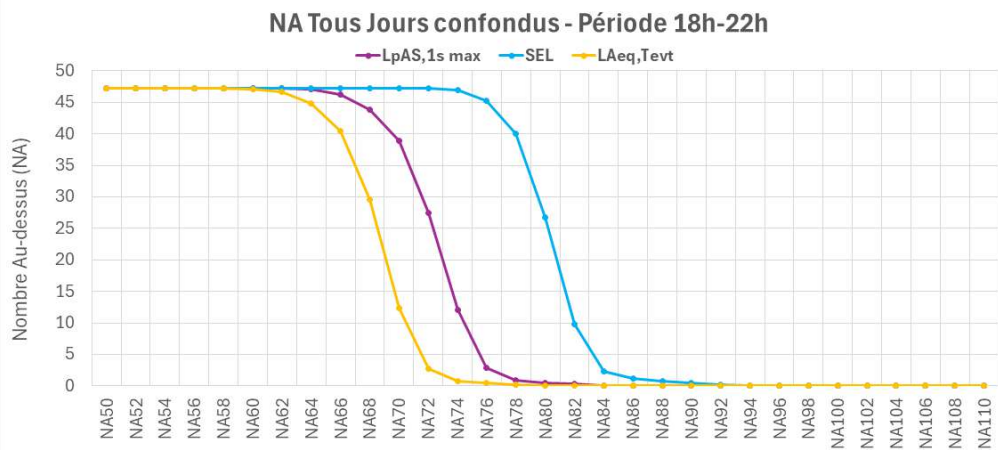
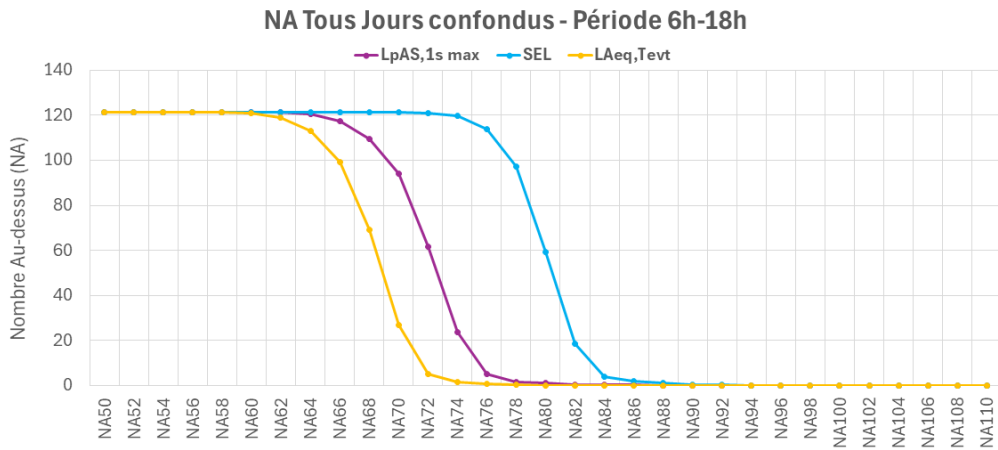


JOURS OUVRABLES





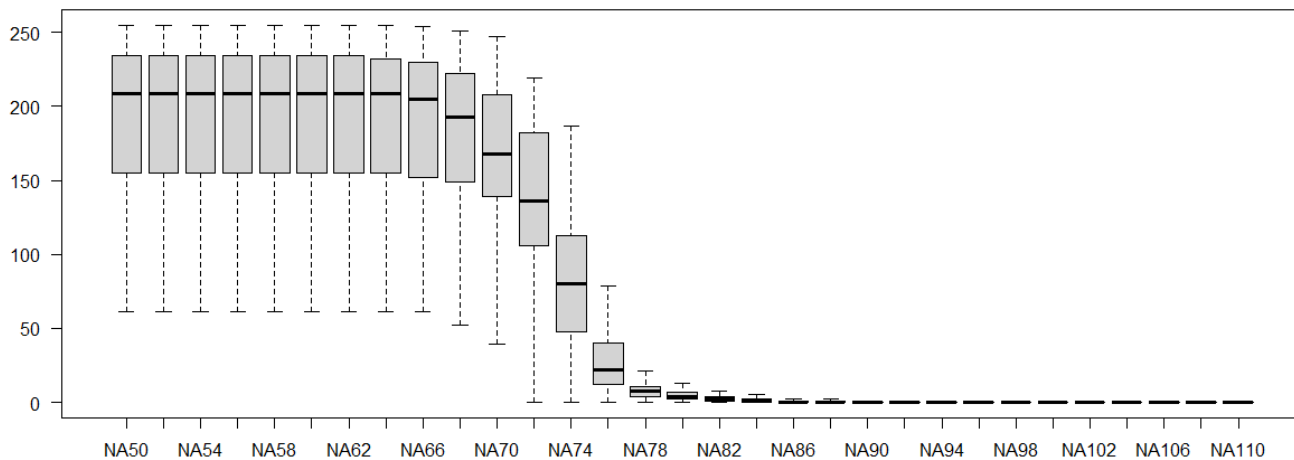
TOUS JOURS CONFONDUS



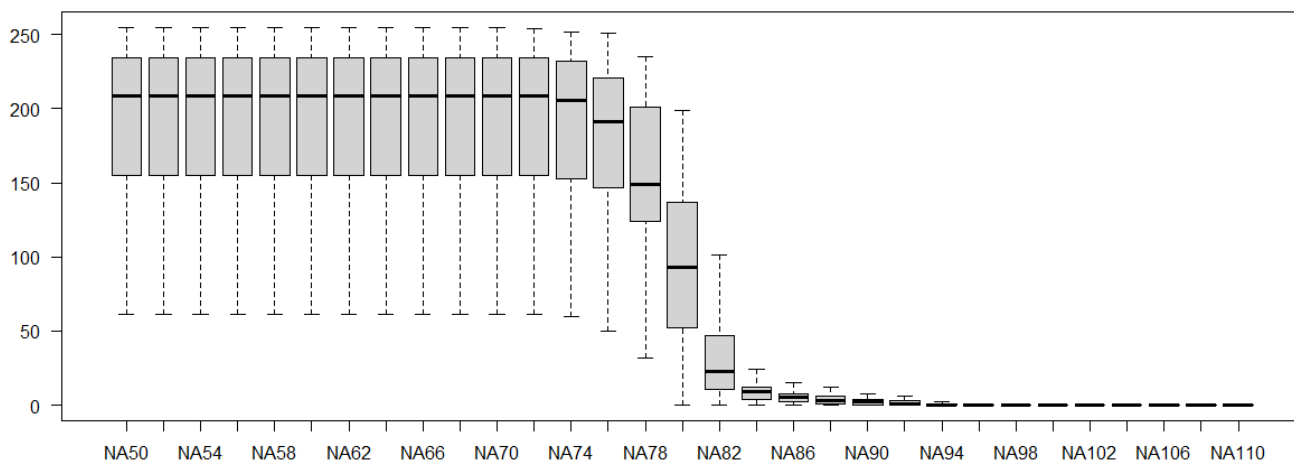
Variabilité des indicateurs NAX au cours de la période d'expérimentation

Variations des indicateurs NAX au cours des 6 mois d'expérimentation du 1^{er} novembre 2022 au 30 avril 2023
Tous Jours Confondus

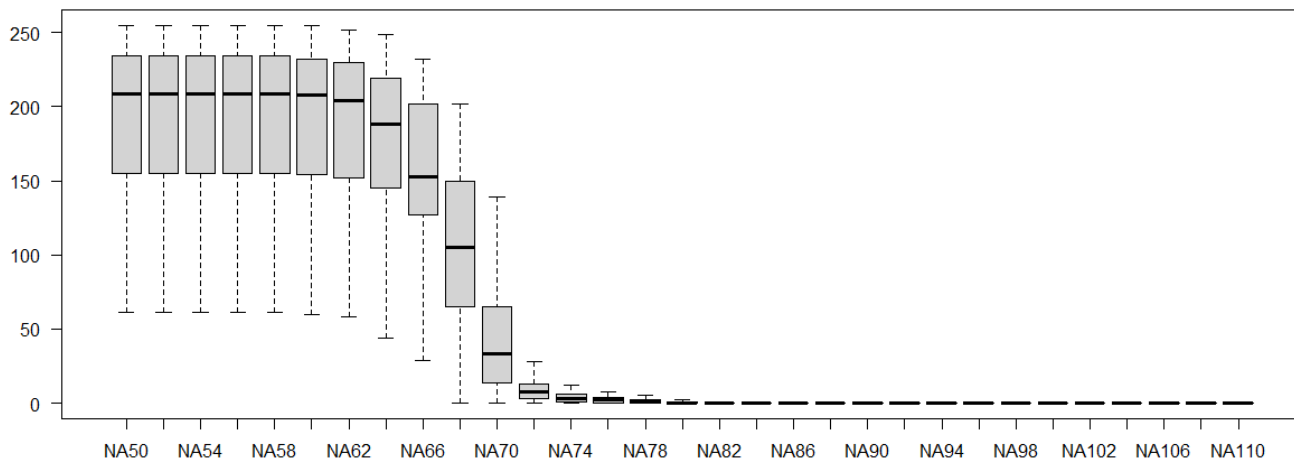
Distribution boxplot des NAX en LAmx



Distribution boxplot des NAX en SEL



Distribution boxplot des NAX en LAeq,evt



Descriptif du site de mesure



Vue de la station de mesure



Vue du site

Nom usuel du site	Mitry
Nom du site (nomenclature gestionnaire)	77290-MITRY-LILLE
Département	77
Coordonnées_Lat_Long	48.952057, 2.597017
Adresse	3 Boulevard de Lille
Code Postal	77290
Ville	Mitry-Mory
Gestionnaire des voies	SNCF-Réseau
Numéro de ligne	229000
Type de site	Péri-urbain
Vitesse maximale de circulation (en km/h)	150
Vitesse moyenne réelle de la ligne (mesurée) en km/h	Non disponible
Classement sonore de la voie	Catégorie 2
Distance du récepteur à la voie la plus proche (en mètres)	29
Hauteur du récepteur par rapport au sol (en mètres)	4
Type de mesure (champ libre / façade)	Champ libre
Nombre de voies	4
Type traverses	Inconnu
Présence d'une protection acoustique (écran, merlon...)	Non
Hauteur terrain récepteur par rapport hauteur terrain voies (en mètres)	0
Autres sources potentielles de bruit 1	Rue en impasse
Autres sources potentielles de bruit 2	-
Autres sources potentielles de bruit 3	-
Autres sources potentielles de bruit 4	-
Date de début des mesures	01/10/2022
Date de fin des mesures	30/04/2023
Durée totale de la mesure exploitée (en jours)	181

Trafic ferroviaire moyen pendant l'expérimentation (sur la période de mesure exploitée)

Catégorie	Période	Trafic Moyen Journalier		
		Tous Jours Confondus	Jours Ouvrables	Week-End
Tous types de matériels confondus	Journée 6h-18h	133	160	66
	Soirée 18h-22h	53	66	21
	Nuit 22h-6h	25	27	21
	Total 24 heures	212	254	107
Transilien / RER	Journée 6h-18h	114	136	61
	Soirée 18h-22h	45	56	19
	Nuit 22h-6h	22	23	19
	Total 24 heures	181	214	100
TER / Intercités	Journée 6h-18h	13	16	4
	Soirée 18h-22h	5	7	1
	Nuit 22h-6h	0	1	0
	Total 24 heures	18	24	5
Corail	Journée 6h-18h	0	0	0
	Soirée 18h-22h	0	0	0
	Nuit 22h-6h	0	0	0
	Total 24 heures	0	0	0
TaGV	Journée 6h-18h	0	0	0
	Soirée 18h-22h	0	0	0
	Nuit 22h-6h	0	0	0
	Total 24 heures	0	0	0
Fret / travaux	Journée 6h-18h	6	8	1
	Soirée 18h-22h	3	3	1
	Nuit 22h-6h	3	4	1
	Total 24 heures	12	16	3
Métro	Journée 6h-18h	0	0	0
	Soirée 18h-22h	0	0	0
	Nuit 22h-6h	0	0	0
	Total 24 heures	0	0	0
Tramway	Journée 6h-18h	0	0	0
	Soirée 18h-22h	0	0	0
	Nuit 22h-6h	0	0	0
	Total 24 heures	0	0	0

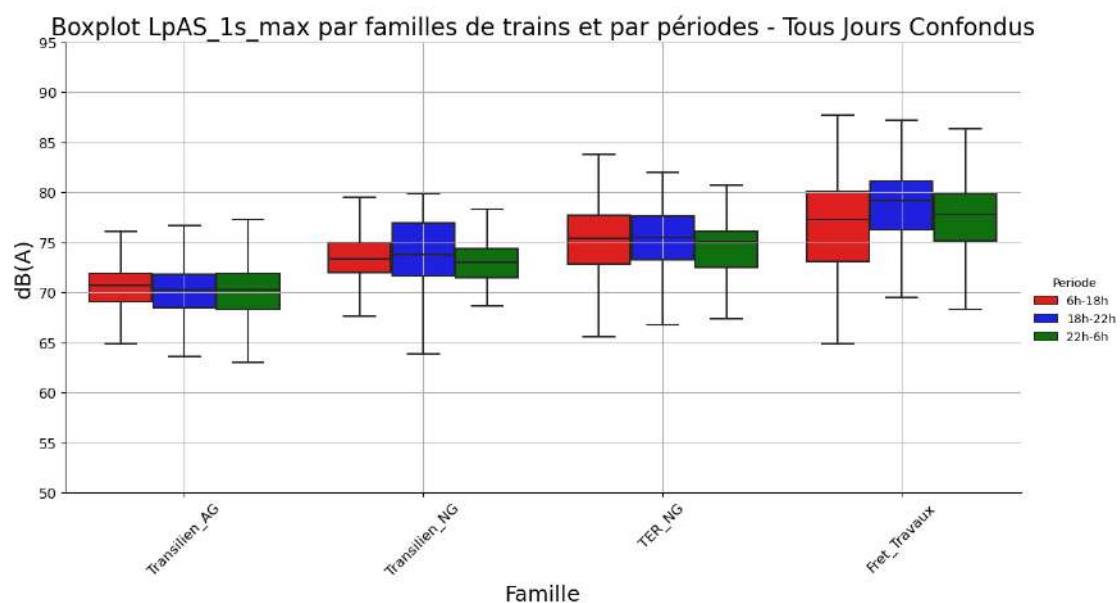
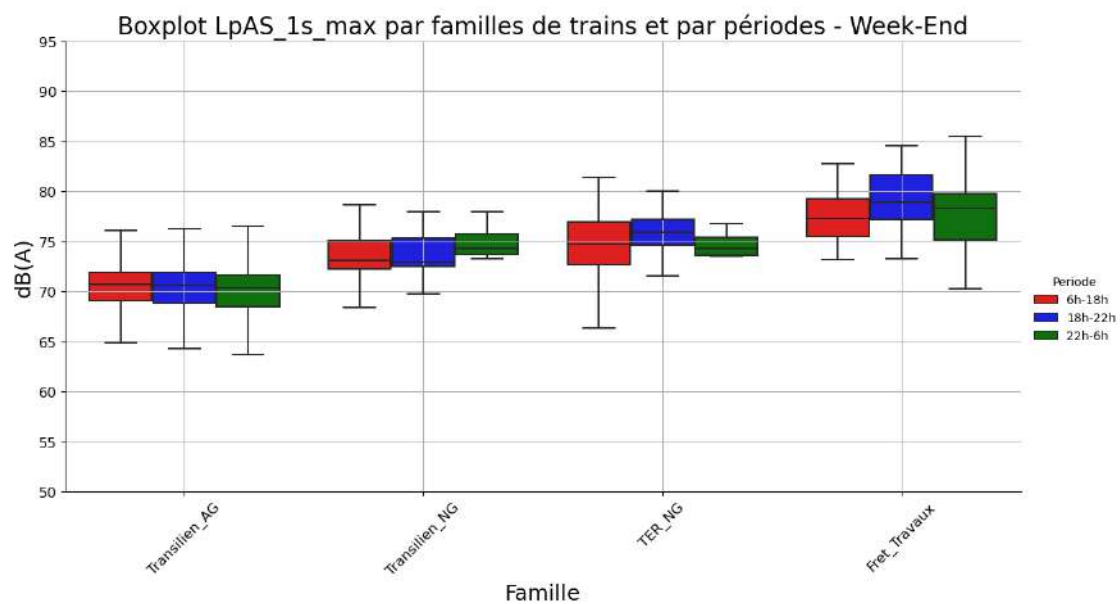
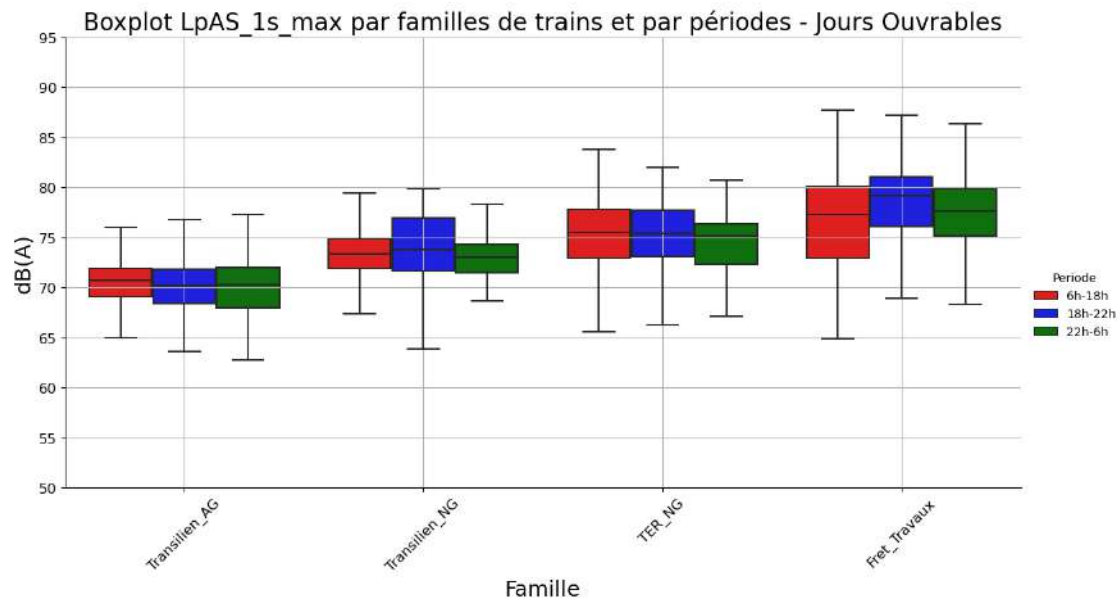
Données ORE – SNCF-Réseau

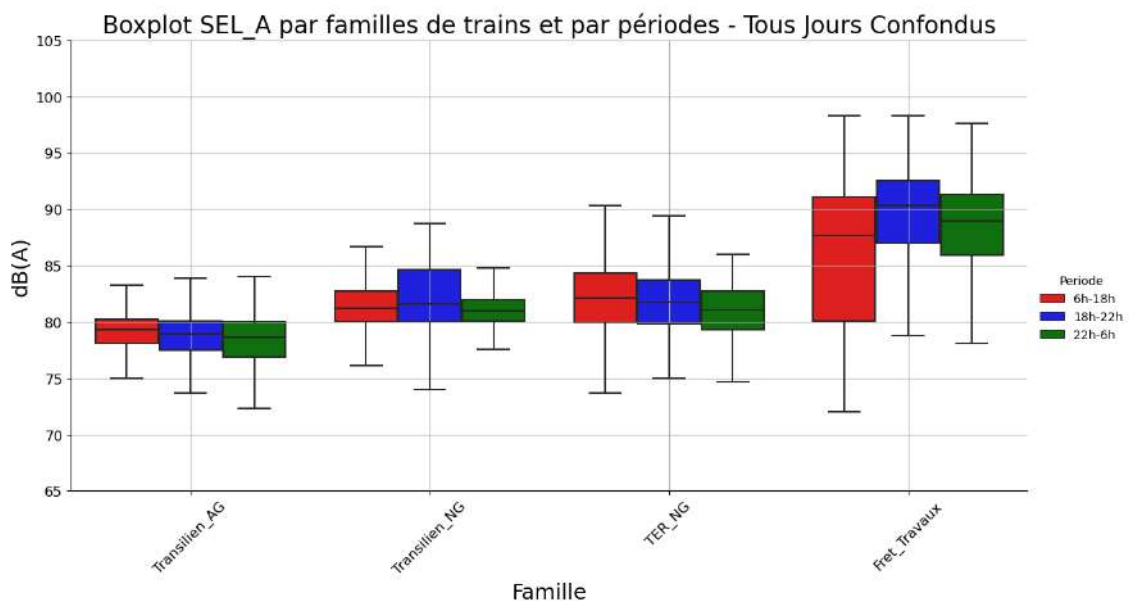
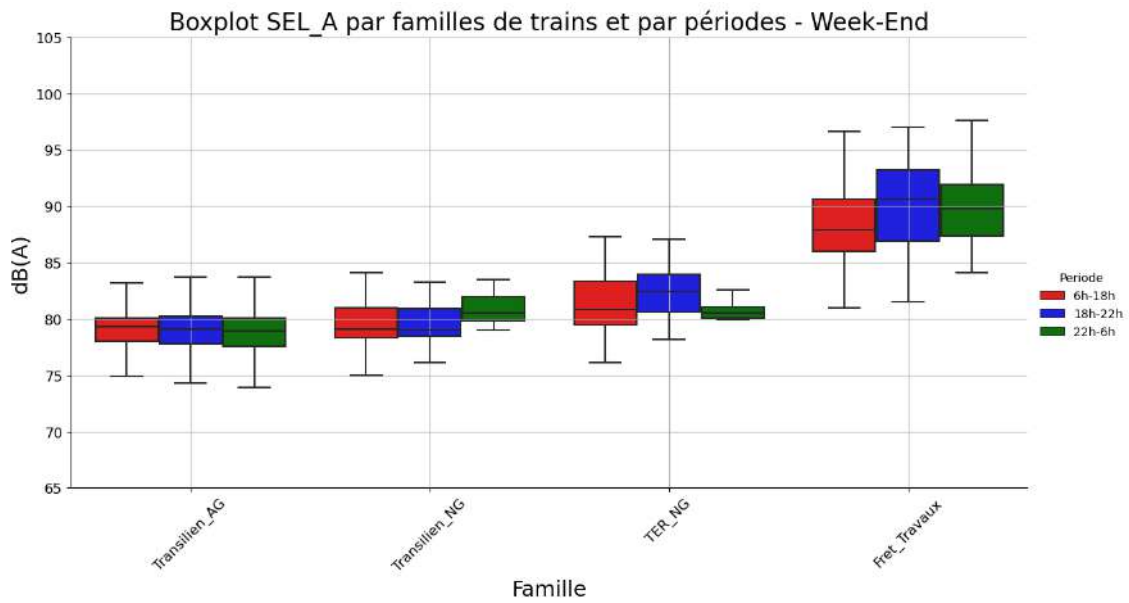
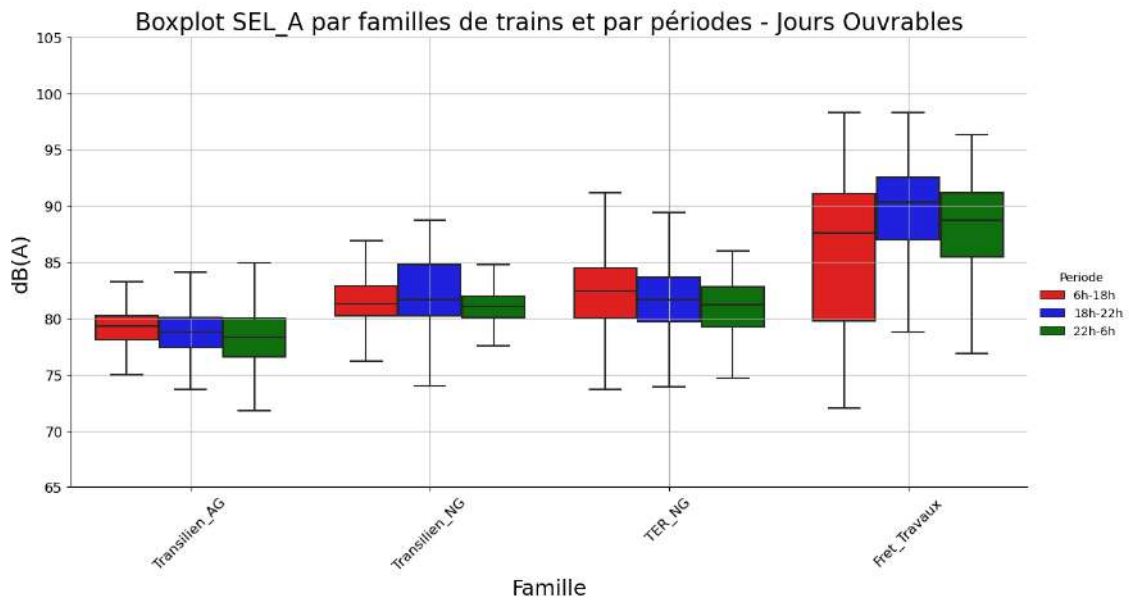
Niveaux de bruit, nombre d'événements ferroviaires et compteur à points (NPC) – Moyenne journalière par périodes

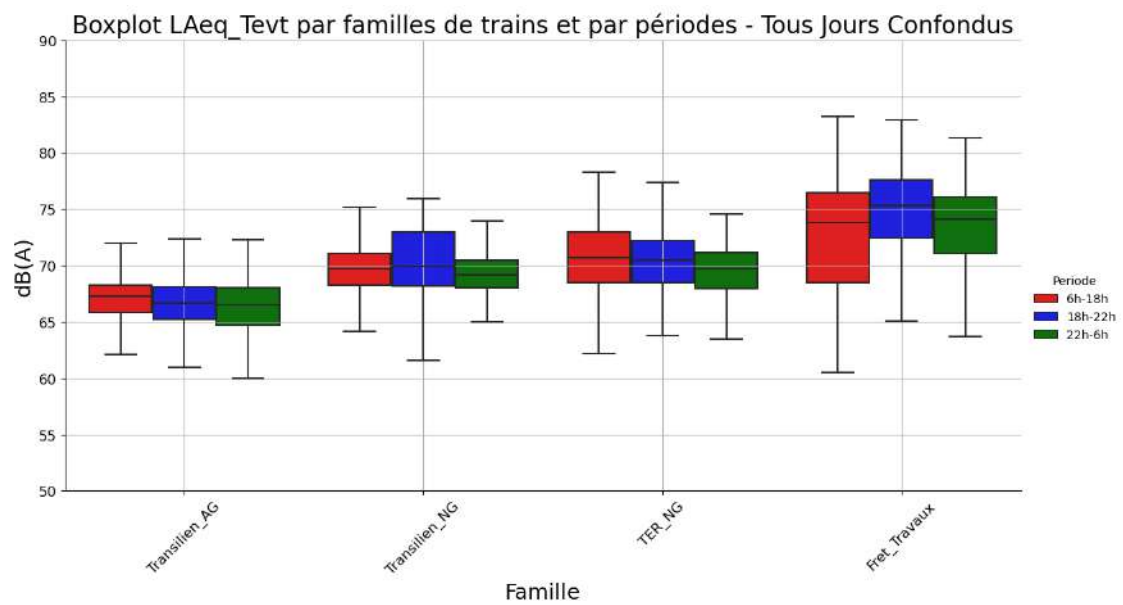
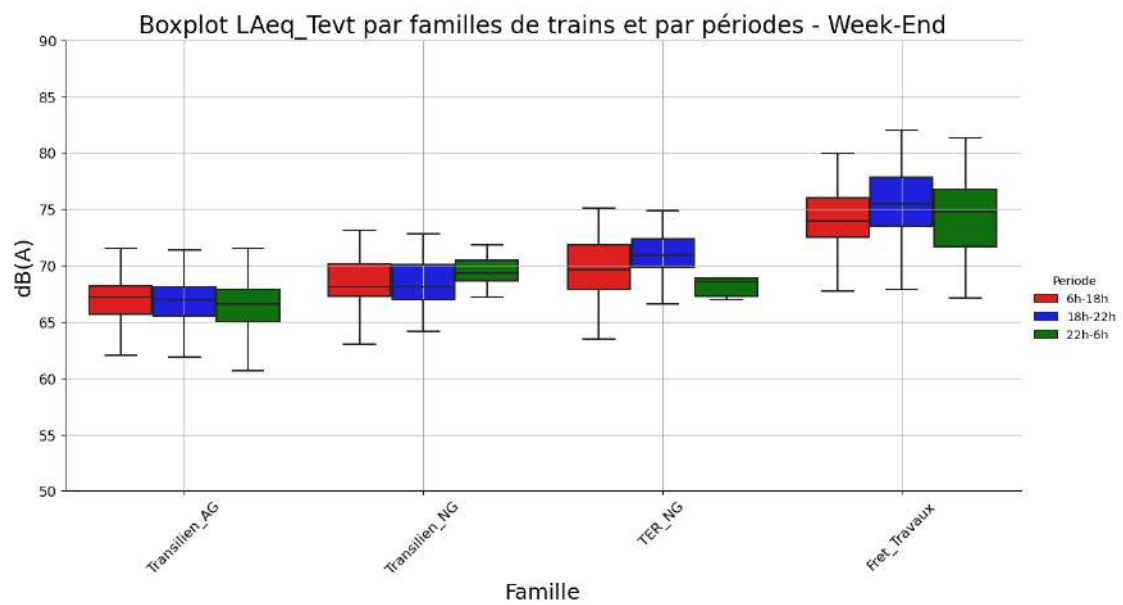
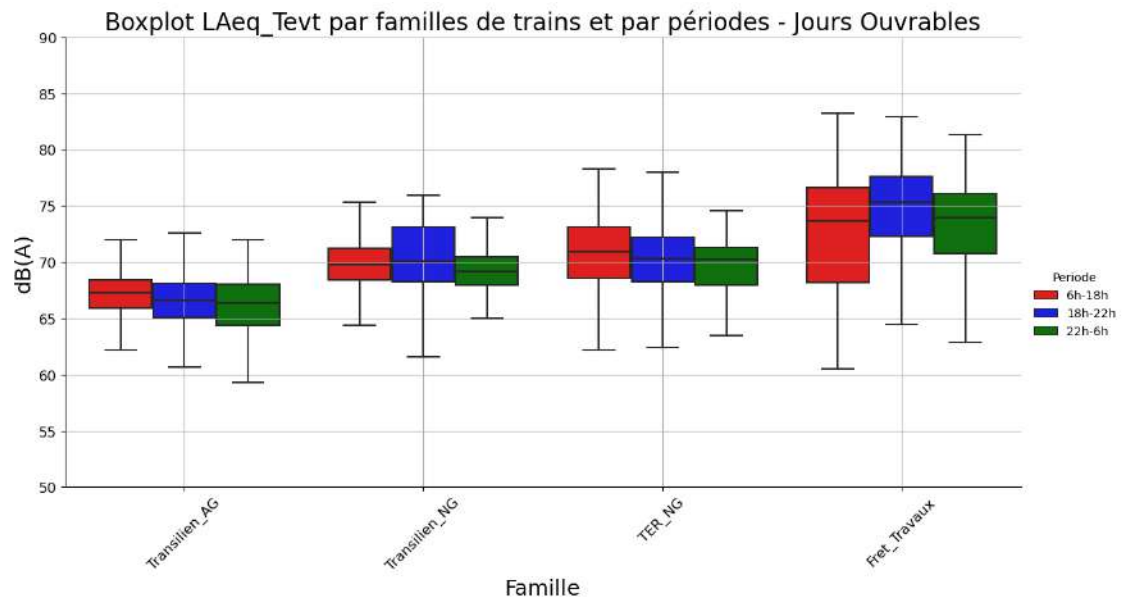
	TOUS JOURS CONFONDUS					JOURS OUVRABLES					WEEK-END				
	6h-18h	18h-22h	22h-6h	24h	DEN	6h-18h	18h-22h	22h-6h	24h	DEN	6h-18h	18h-22h	22h-6h	24h	DEN
Bruit ambiant (toutes sources sonores confondues) en dB(A)	57.6	58.5	53.0	56.8	61.2	58.5	59.5	53.6	57.6	62.0	53.9	54.3	51.1	53.2	58.4
Contribution du bruit ferroviaire en dB(A)	56.8	58.1	52.3	56.0	60.6	57.8	59.1	52.8	57.0	61.4	52.4	53.1	50.3	51.9	57.4
Contribution sonore énergétique du bruit ferroviaire dans le bruit ambiant en %	82%	90%	84%	85%	85%	84%	92%	85%	86%	87%	71%	76%	83%	74%	79%
Nombre total de trains détectés au niveau de la station de mesure	129	51	26	206	-	154	62	27	244	-	69	22	21	111	-
Nombre total de trains détectés au niveau de la gare la plus proche (SNCF-ORE)	133	53	25	212	-	160	66	27	254	-	66	21	21	107	-
Noise Point Counter (NPC) ou compteur d'événements sonores à points	382	151	74	606	-	460	187	80	727	-	188	60	59	307	-
Noise Point Counter (NPC) - moyenne horaire	32	38	9	25	-	38	47	10	30	-	16	15	7	13	-

DEN : Day-Evening-Night

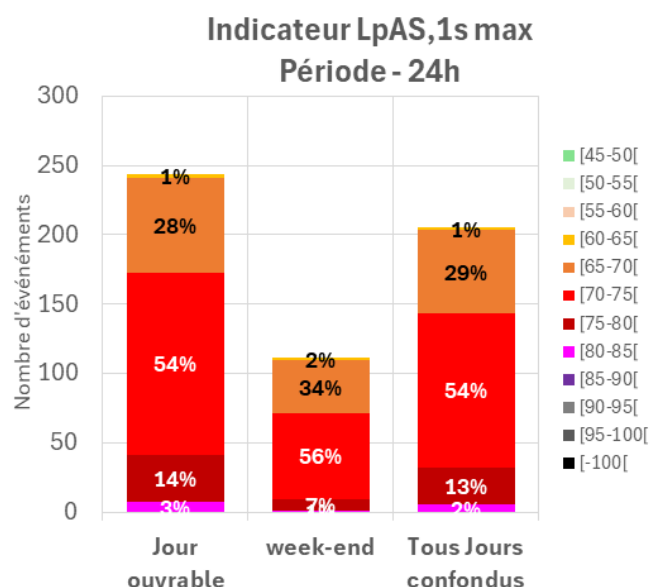
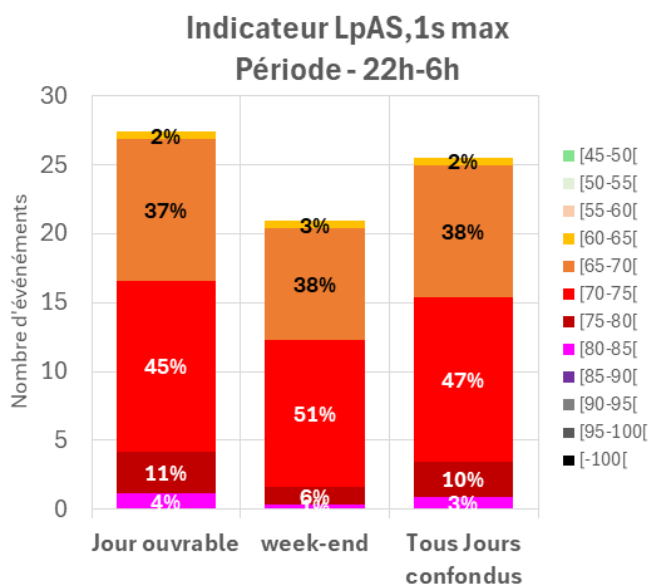
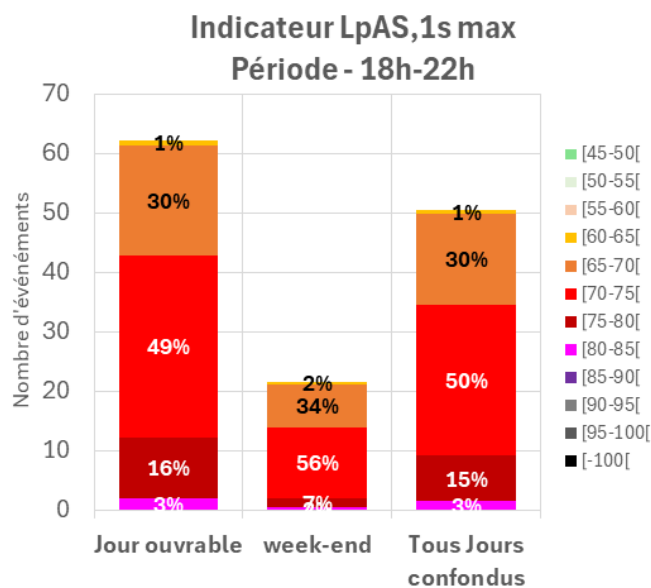
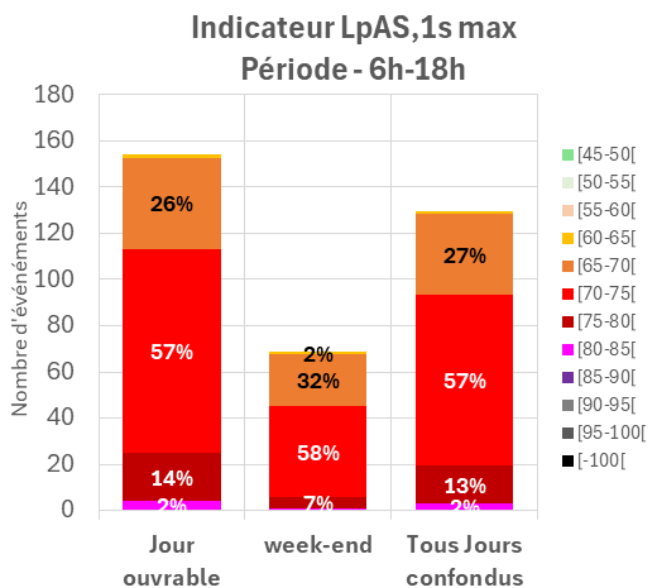
Statistiques par familles de trains, par périodes et par type de jour (boxplot)



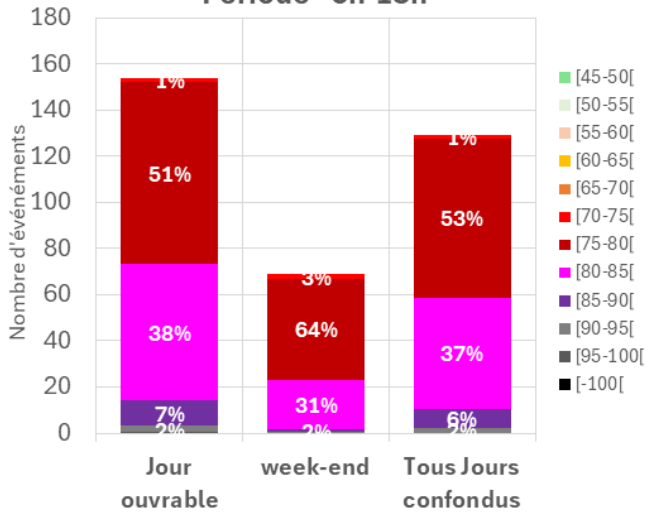




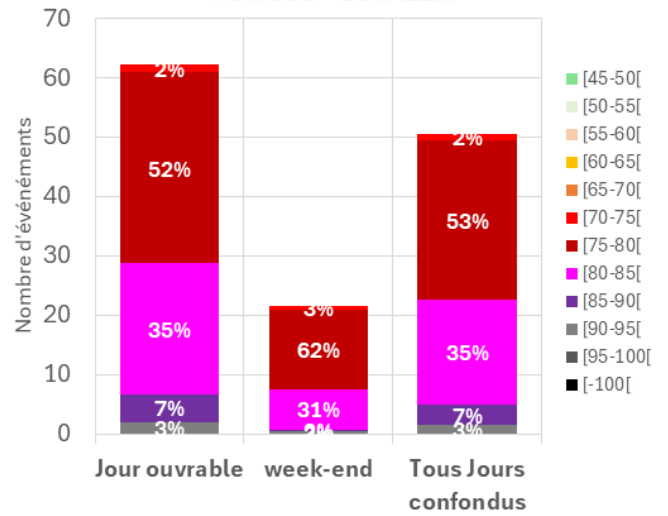
Distribution des indicateurs par plages de 5 dB par périodes



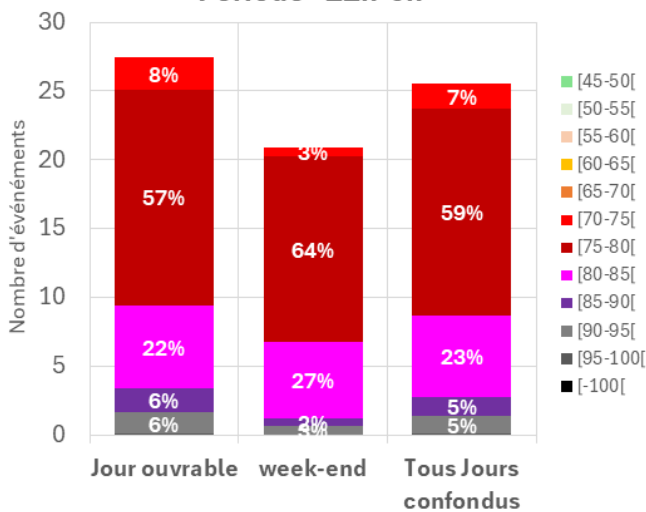
**Indicateur SEL
Période - 6h-18h**



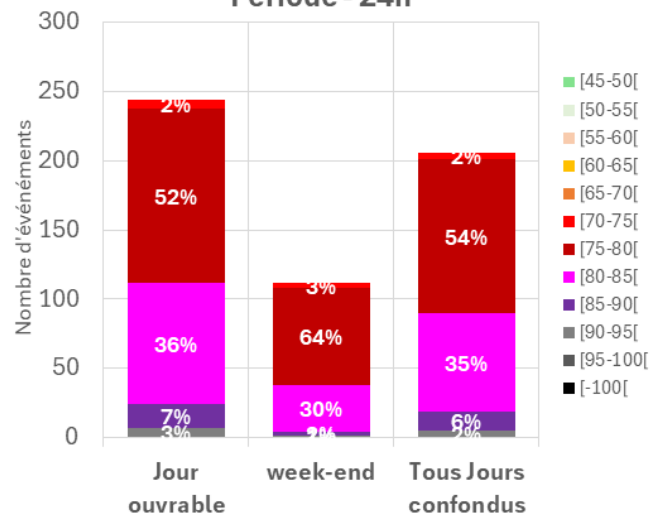
**Indicateur SEL
Période - 18h-22h**



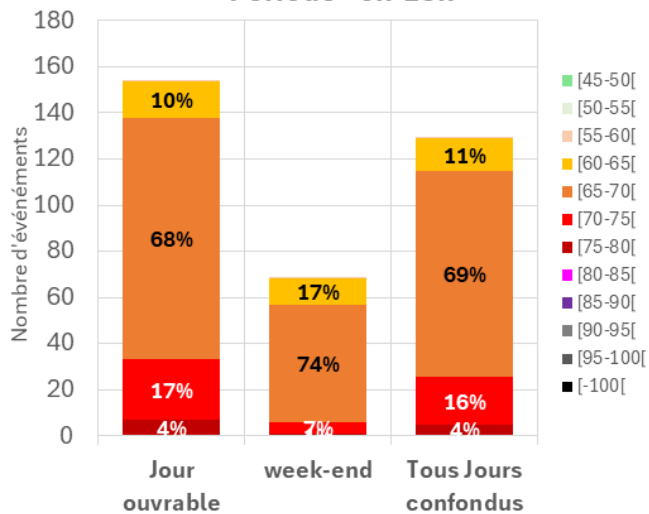
**Indicateur SEL
Période - 22h-6h**



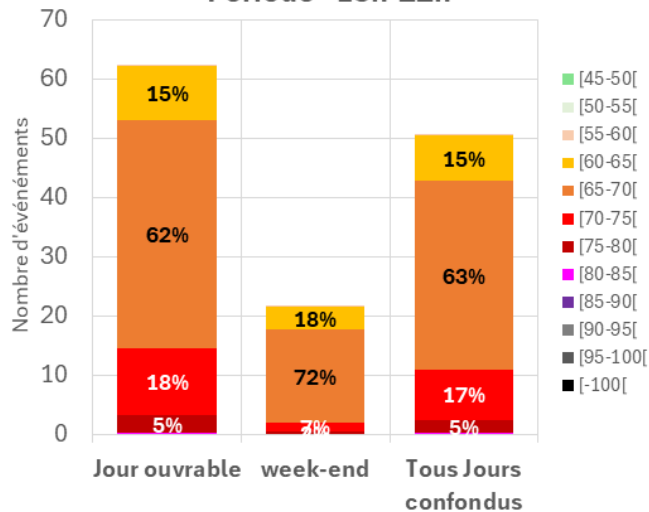
**Indicateur SEL
Période - 24h**



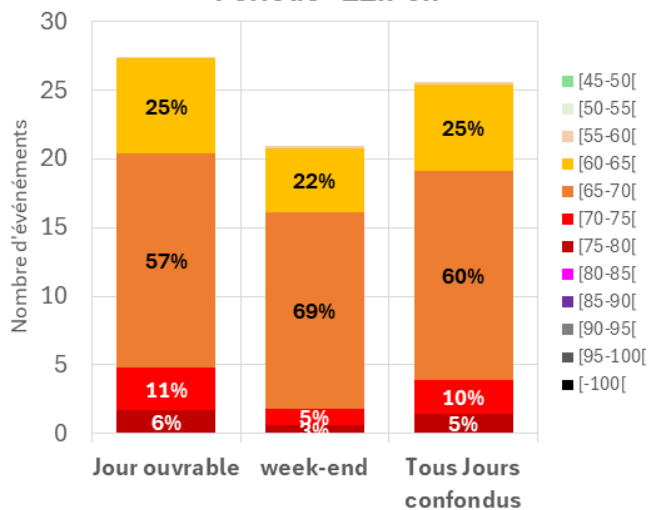
**Indicateur LAeq,Tevt
Période - 6h-18h**



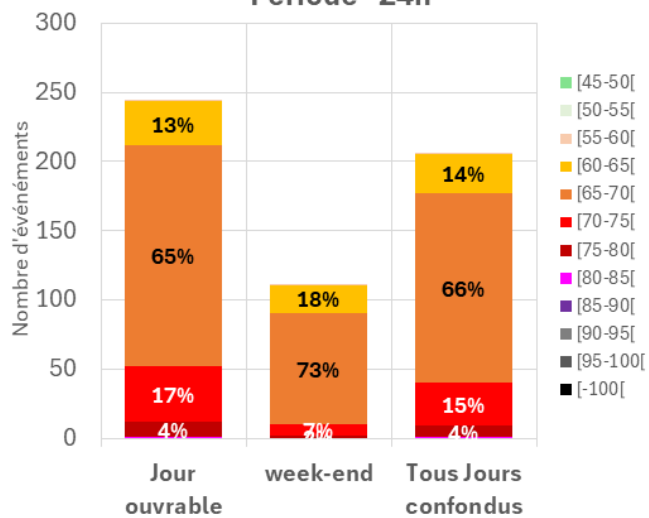
**Indicateur LAeq,Tevt
Période - 18h-22h**



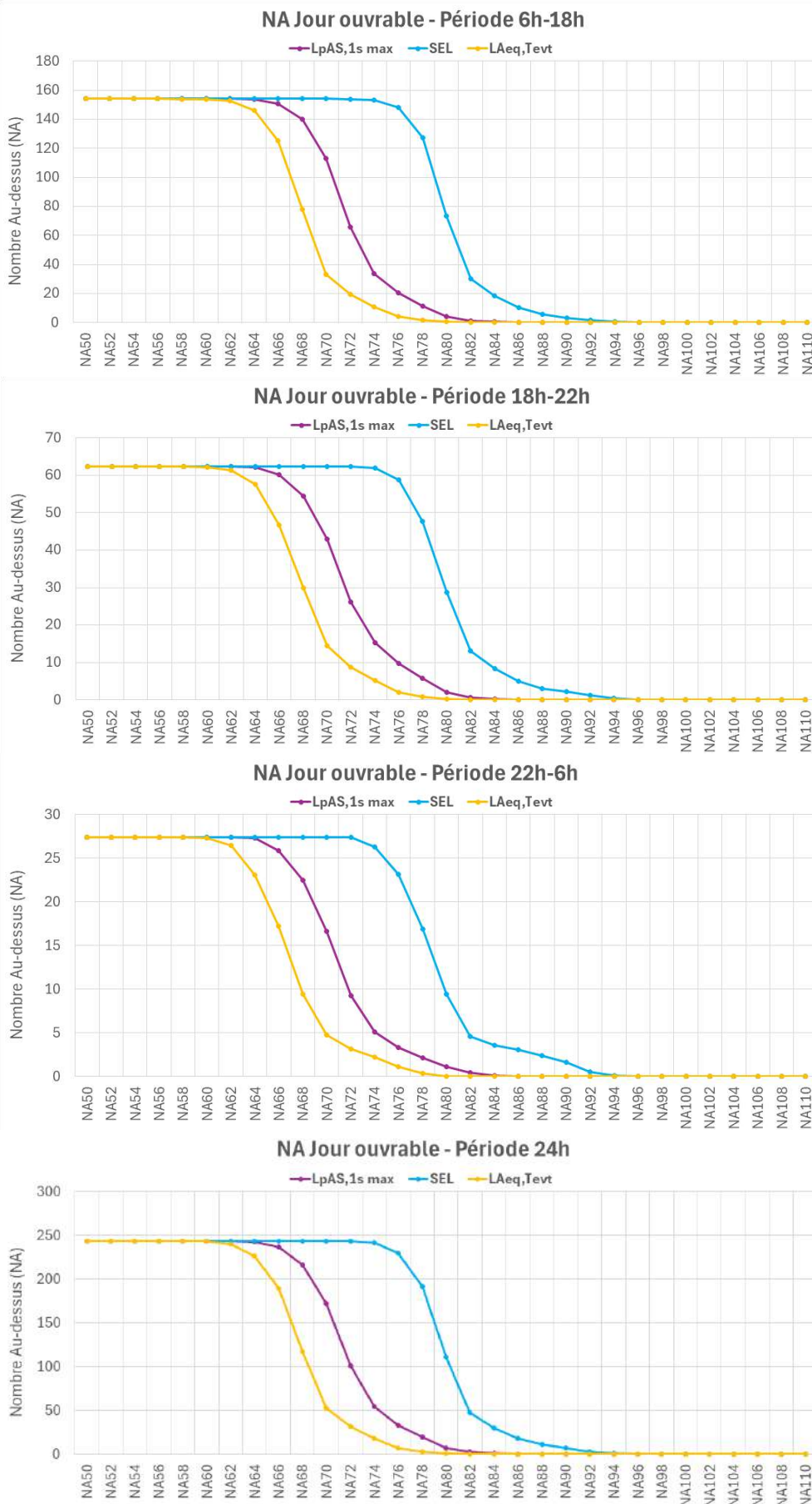
**Indicateur LAeq,Tevt
Période - 22h-6h**



**Indicateur LAeq,Tevt
Période - 24h**



JOURS OUVRABLES





Vue de la station de mesure



Vue du site

Nom usuel du site	Villemomble
Nom du site (nomenclature gestionnaire)	93250-VILLEMOMBLE-CURIE
Département	93
Coordonnées_Lat_Long	48.877403, 2.517711
Adresse	7 rue Pierre Curie
Code Postal	93250
Ville	Villemomble
Gestionnaire des voies	SNCF-Réseau
Numéro de ligne	957000
Type de site	Péri-urbain
Vitesse maximale de circulation (en km/h)	90
Vitesse moyenne réelle de la ligne (mesurée) en km/h	Non disponible
Classement sonore de la voie	Catégorie 1
Distance du récepteur à la voie la plus proche (en mètres)	9
Hauteur du récepteur par rapport au sol (en mètres)	4
Type de mesure (champ libre / façade)	Champ libre
Nombre de voies	2
Type traverses	Béton - bi-bloc
Présence d'une protection acoustique (écran, merlon...)	Non
Hauteur terrain récepteur par rapport hauteur terrain voies (en mètres)	3
Autres sources potentielles de bruit 1	Trafic routier sur la rue Curie
Autres sources potentielles de bruit 2	-
Autres sources potentielles de bruit 3	-
Autres sources potentielles de bruit 4	-
Date de début des mesures	01/10/2022
Date de fin des mesures	30/04/2023
Durée totale de la mesure exploitée (en jours)	181

Trafic ferroviaire moyen pendant l'expérimentation (sur la période de mesure exploitée)

Catégorie	Période	Trafic Moyen Journalier		
		Tous Jours Confondus	Jours Ouvrables	Week-End
Tous types de matériels confondus	Journée 6h-18h	17	15	22
	Soirée 18h-22h	11	12	7
	Nuit 22h-6h	17	20	9
	Total 24 heures	45	47	38
Transilien / RER	Journée 6h-18h	3	0	11
	Soirée 18h-22h	1	0	3
	Nuit 22h-6h	1	0	2
	Total 24 heures	5	0	15
TER / Intercités	Journée 6h-18h	0	0	1
	Soirée 18h-22h	0	0	0
	Nuit 22h-6h	0	0	0
	Total 24 heures	1	0	2
Corail	Journée 6h-18h	0	0	0
	Soirée 18h-22h	0	0	0
	Nuit 22h-6h	0	0	0
	Total 24 heures	0	0	0
TaGV	Journée 6h-18h	0	0	0
	Soirée 18h-22h	0	0	0
	Nuit 22h-6h	0	0	0
	Total 24 heures	0	0	0
Fret / travaux	Journée 6h-18h	13	15	10
	Soirée 18h-22h	9	12	3
	Nuit 22h-6h	16	20	8
	Total 24 heures	39	46	21
Métro	Journée 6h-18h	0	0	0
	Soirée 18h-22h	0	0	0
	Nuit 22h-6h	0	0	0
	Total 24 heures	0	0	0
Tramway	Journée 6h-18h	0	0	0
	Soirée 18h-22h	0	0	0
	Nuit 22h-6h	0	0	0
	Total 24 heures	0	0	0

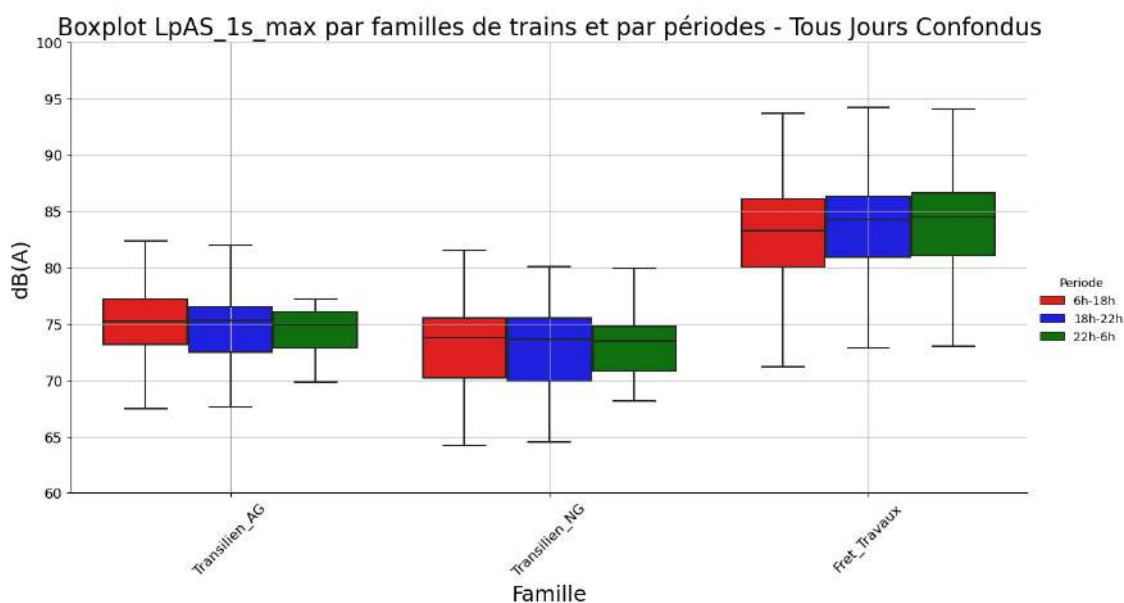
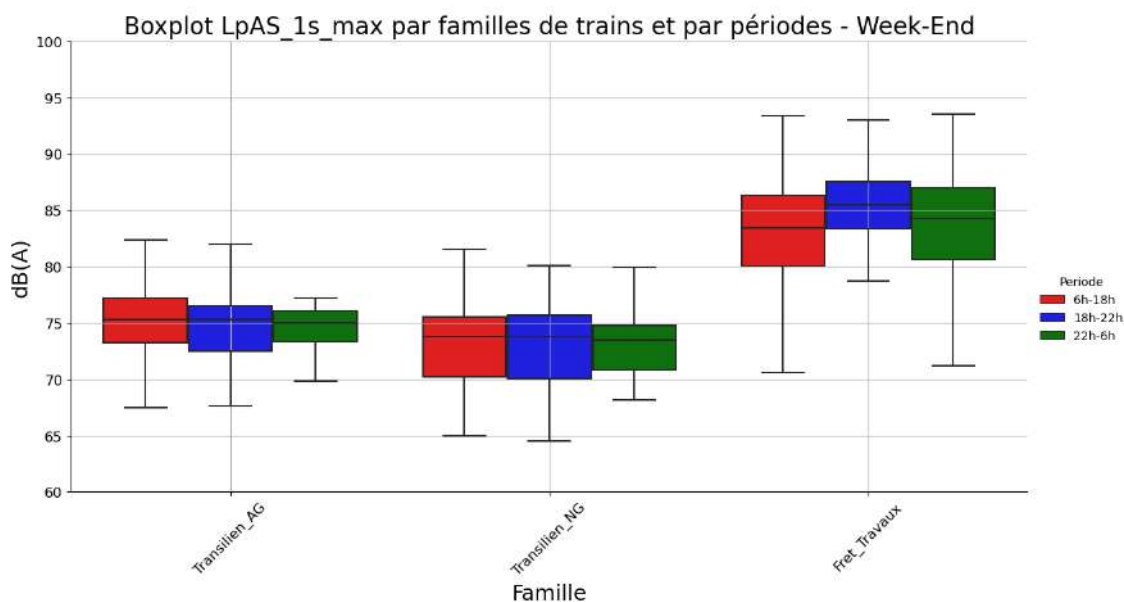
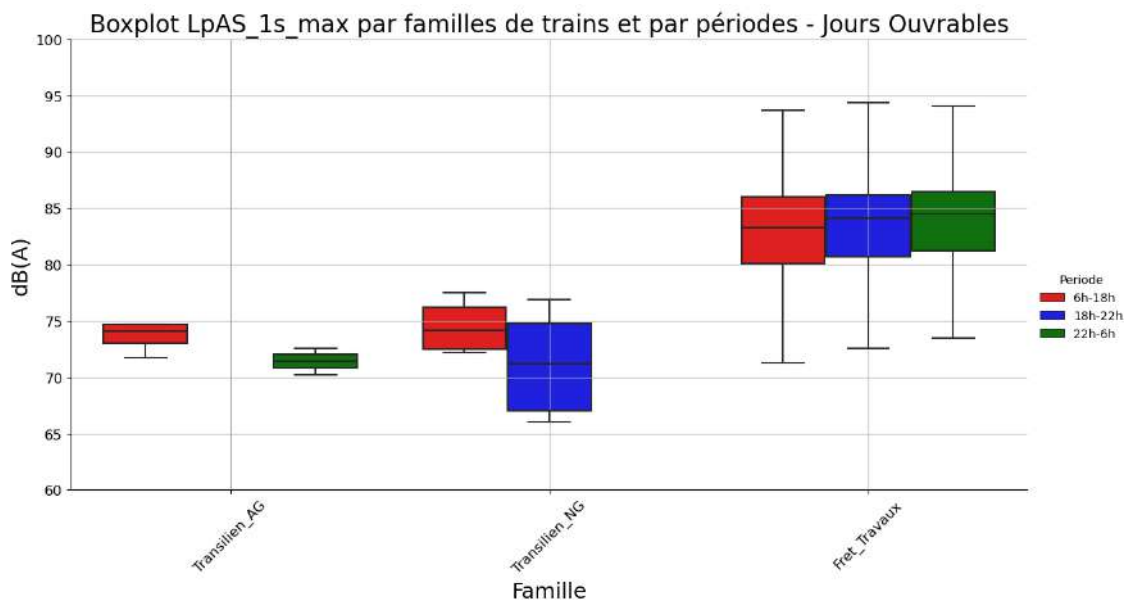
Données ORE – SNCF-Réseau

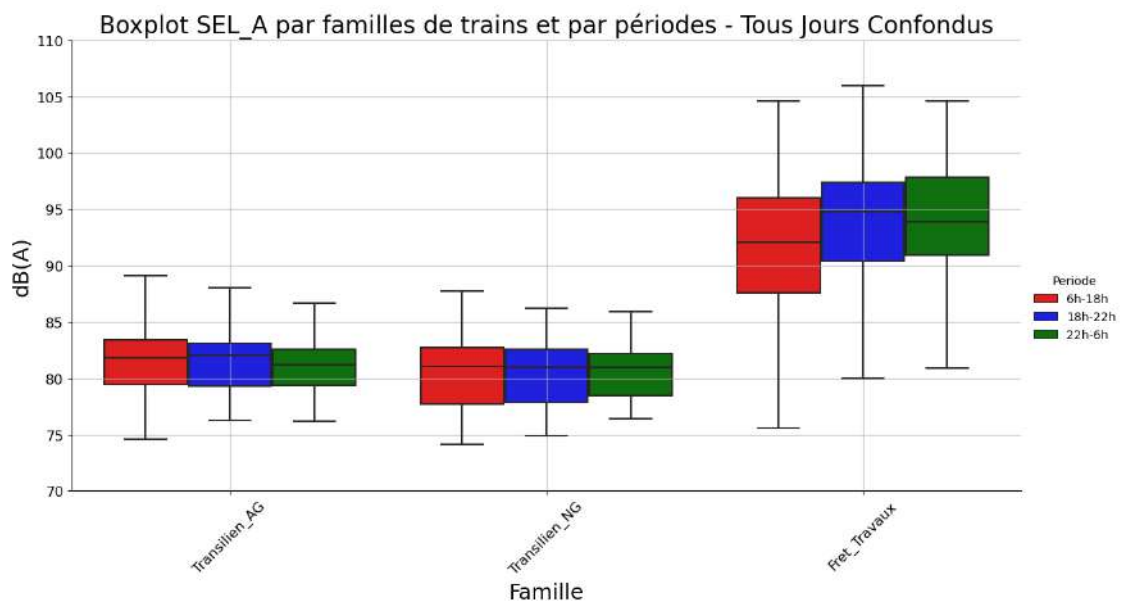
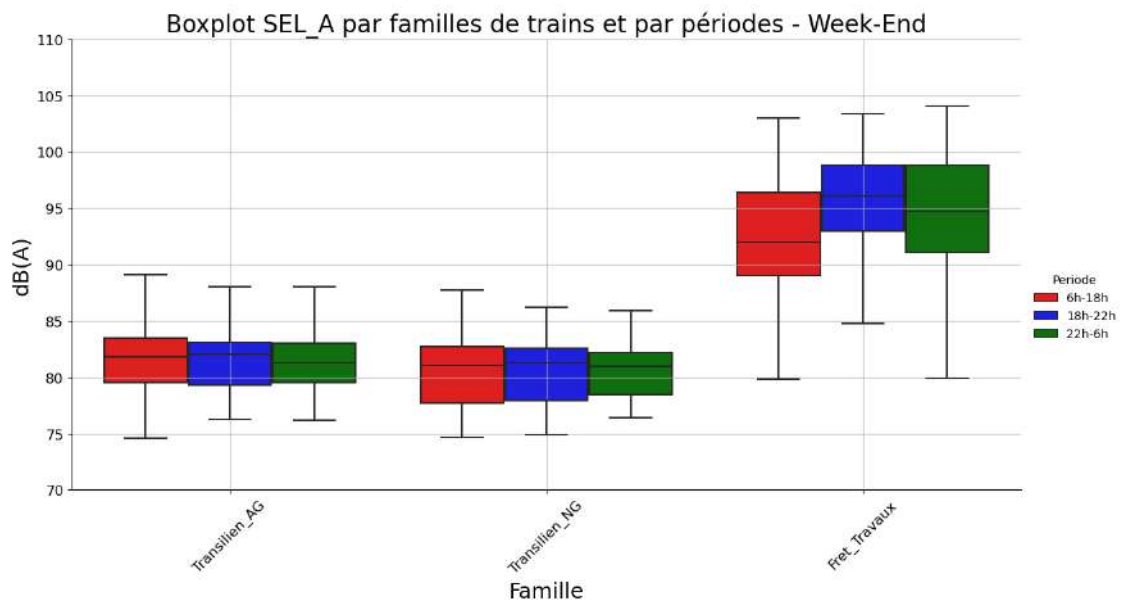
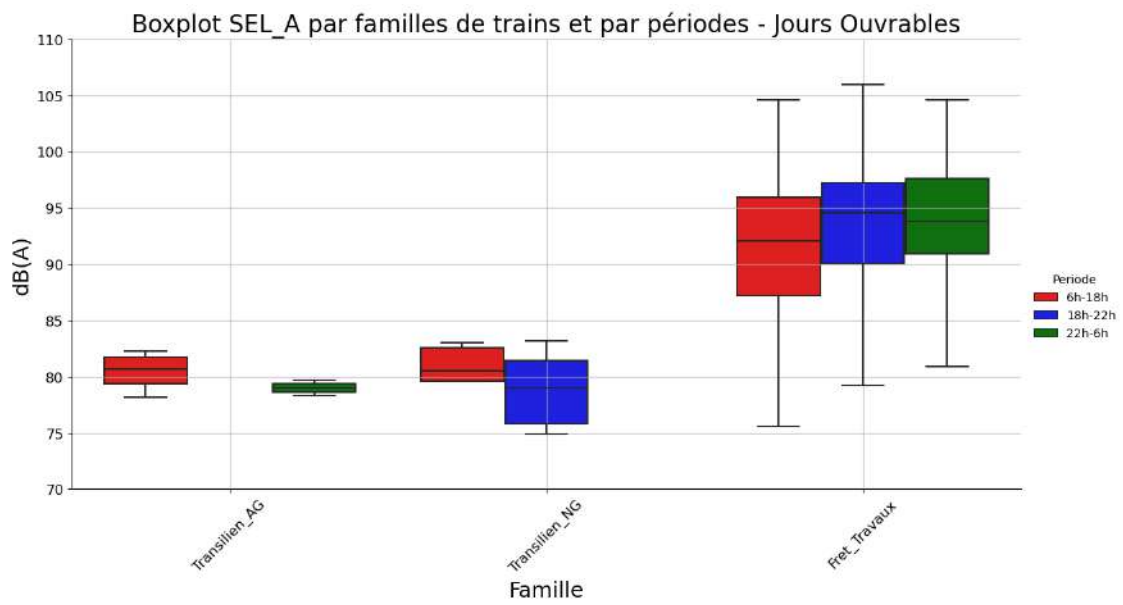
Niveaux de bruit, nombre d'événements ferroviaires et compteur à points (NPC) – Moyenne journalière par périodes

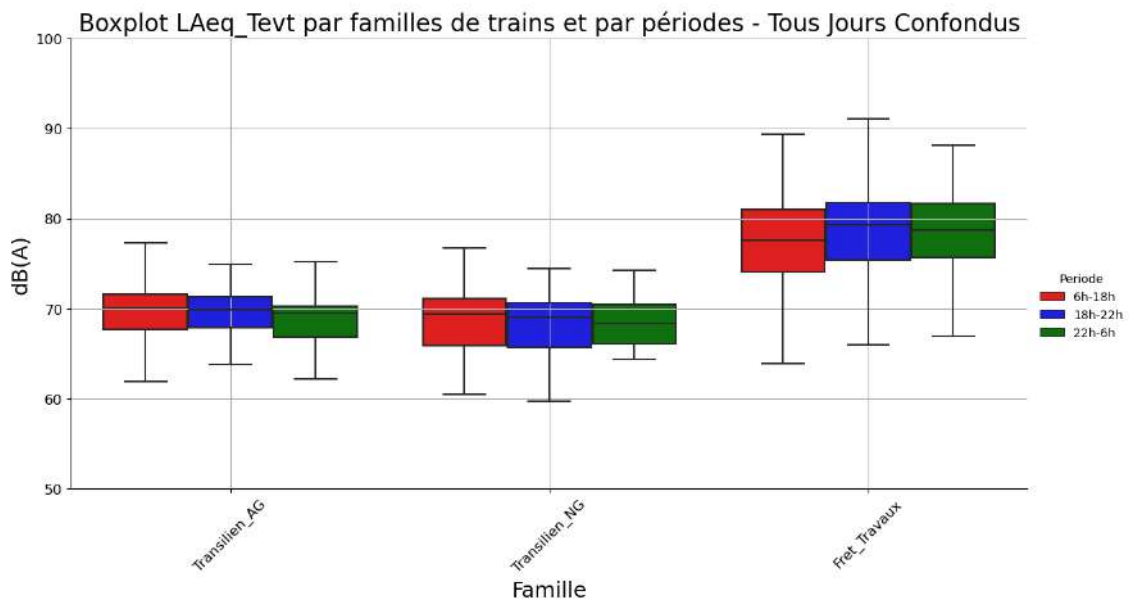
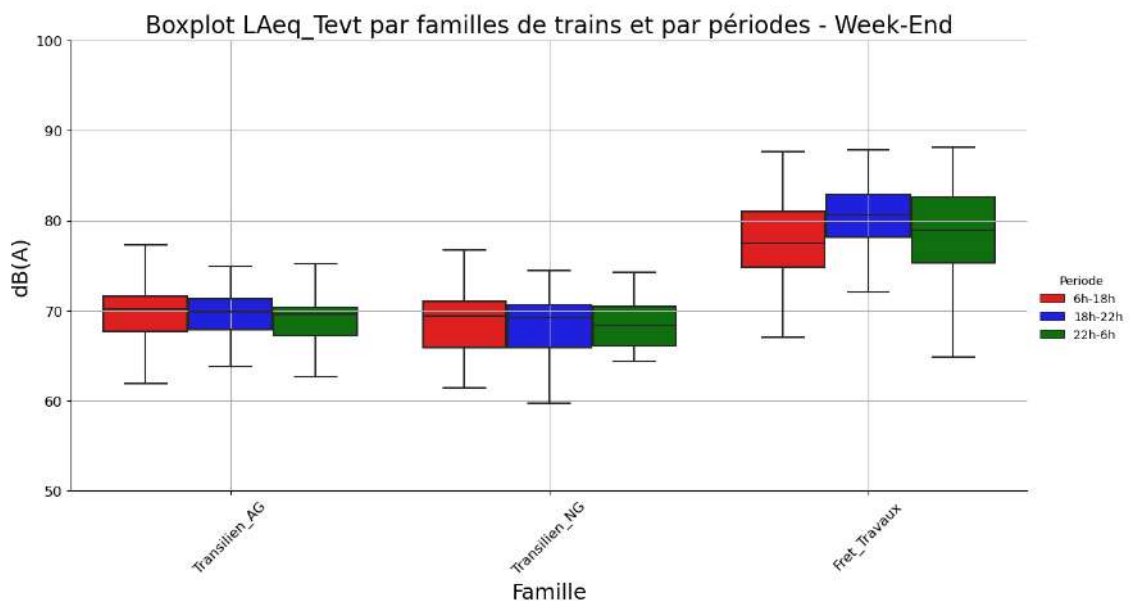
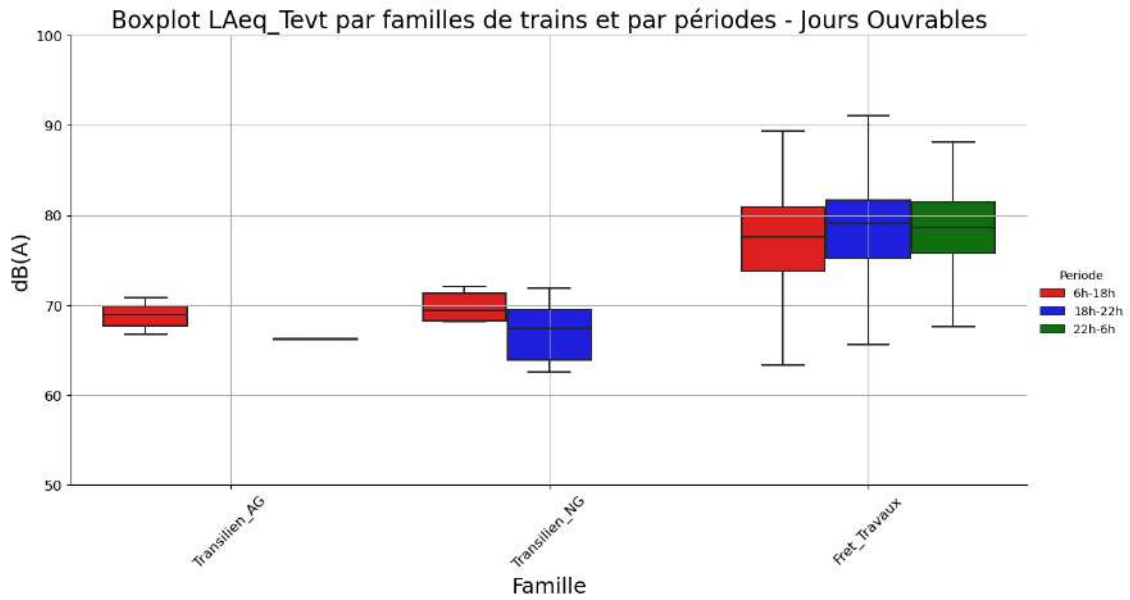
	TOUS JOURS CONFONDUS					JOURS OUVRABLES					WEEK-END				
	6h-18h	18h-22h	22h-6h	24h	DEN	6h-18h	18h-22h	22h-6h	24h	DEN	6h-18h	18h-22h	22h-6h	24h	DEN
Bruit ambiant (toutes sources sonores confondues) en dB(A)	60.6	64.2	63.5	62.5	69.8	60.8	65.1	64.2	63.0	70.4	59.9	61.1	61.2	60.6	67.4
Contribution du bruit ferroviaire en dB(A)	59.9	64.0	63.4	62.1	69.6	60.2	64.8	64.0	62.7	70.2	59.1	60.7	61.0	60.1	67.2
Contribution sonore énergétique du bruit ferroviaire dans le bruit ambiant en %	86%	94%	96%	92%	95%	86%	94%	96%	93%	95%	83%	91%	96%	90%	94%
Nombre total de trains détectés au niveau de la station de mesure	22	12	17	51	-	20	13	20	54	-	25	8	11	43	-
Nombre total de trains détectés au niveau de la gare la plus proche (SNCF-ORE)	17	11	17	45	-	15	12	20	47	-	22	7	9	38	-
Noise Point Counter (NPC) ou compteur d'événements sonores à points	117	78	128	323	-	116	93	150	358	-	119	42	73	234	-
Noise Point Counter (NPC) - moyenne horaire	10	20	16	13	-	10	23	19	15	-	10	11	9	10	-

DEN : Day-Evening-Night

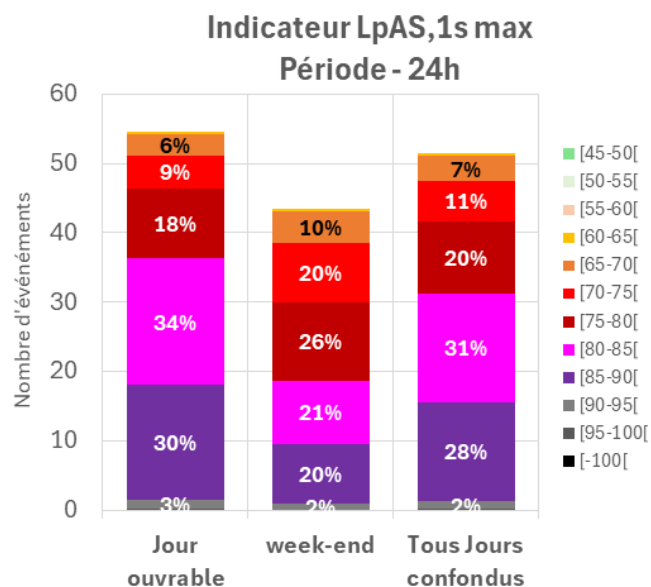
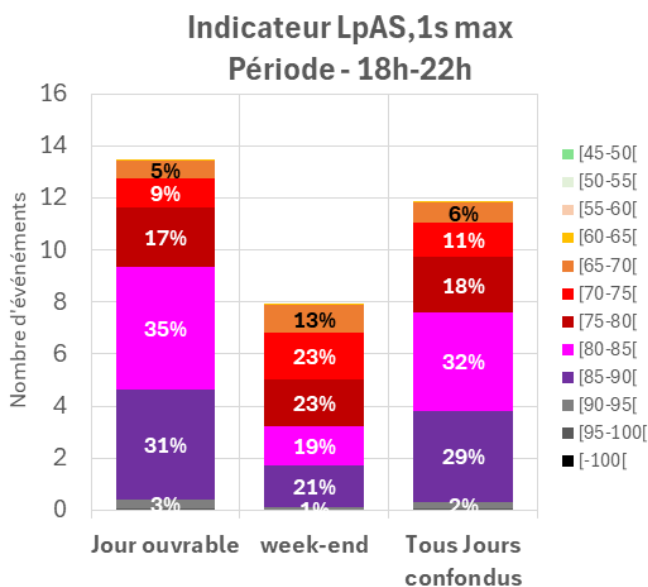
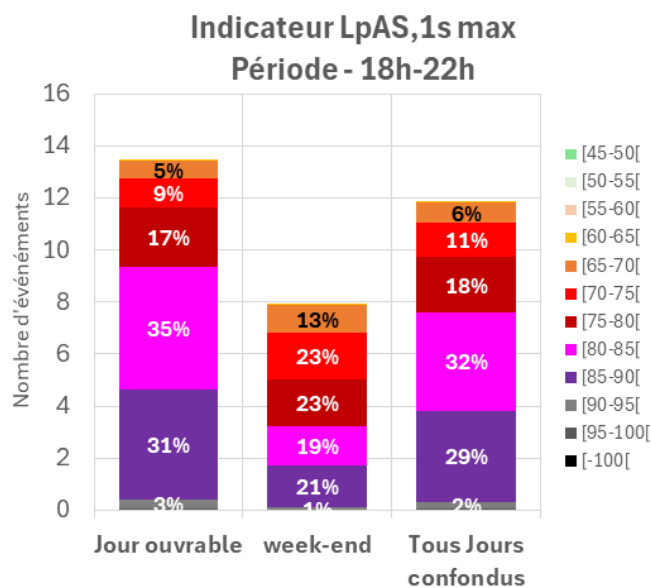
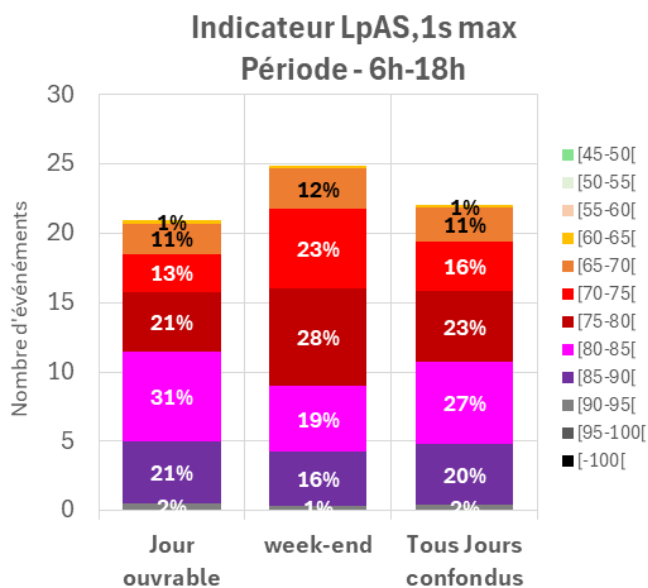
Statistiques par familles de trains, par périodes et par type de jour (boxplot)



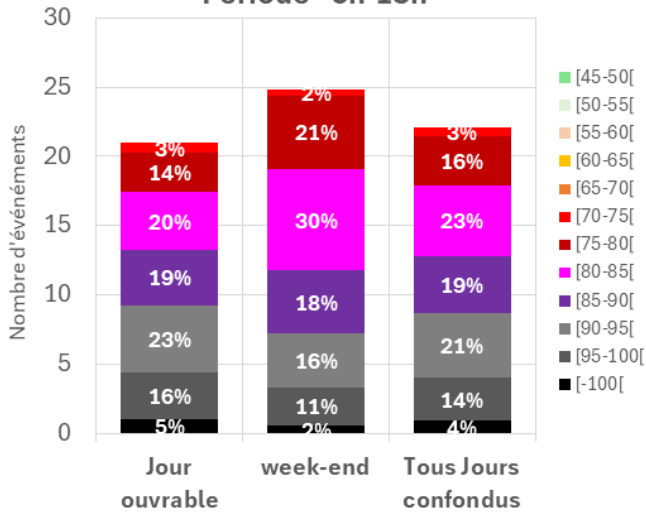




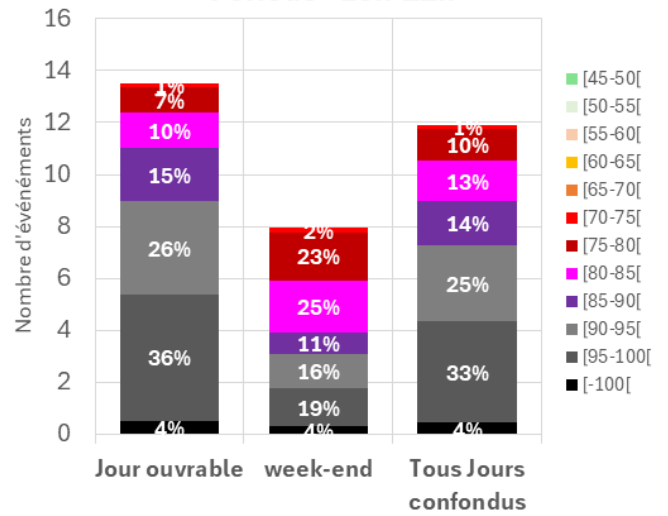
Distribution des indicateurs par plages de 5 dB par périodes



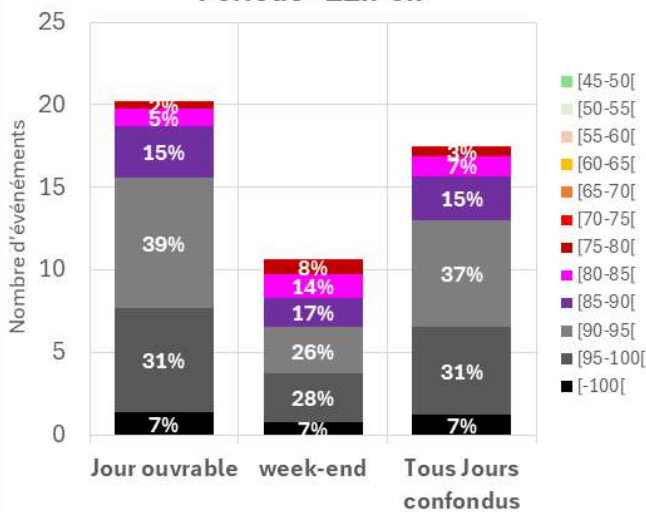
**Indicateur SEL
Période - 6h-18h**



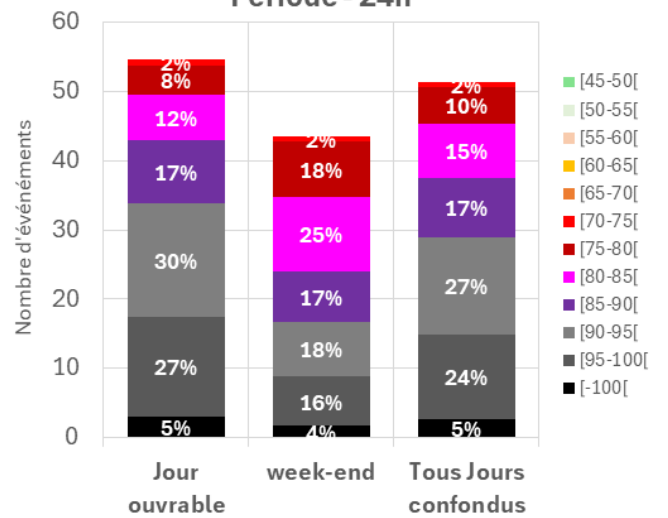
**Indicateur SEL
Période - 18h-22h**



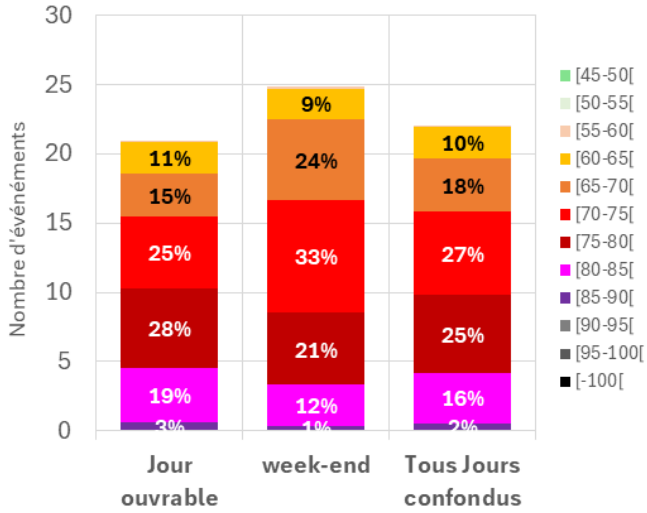
**Indicateur SEL
Période - 22h-6h**



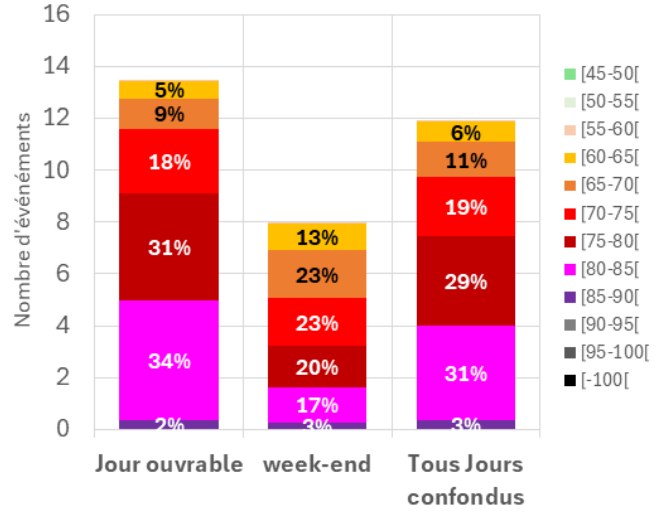
**Indicateur SEL
Période - 24h**



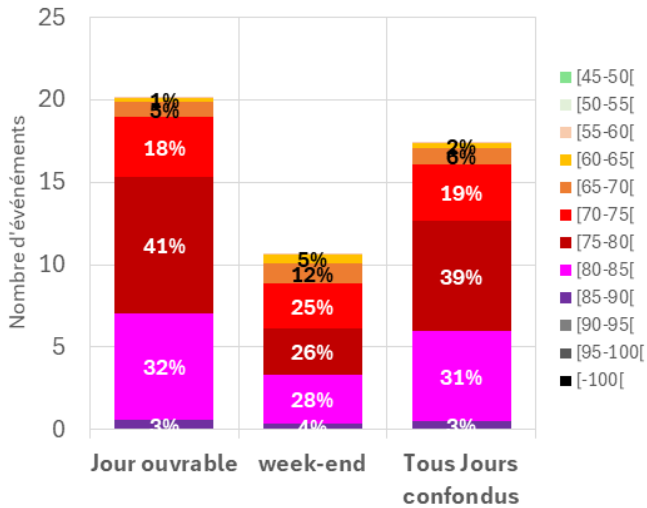
Indicateur LAeq,Tevt
Période - 6h-18h



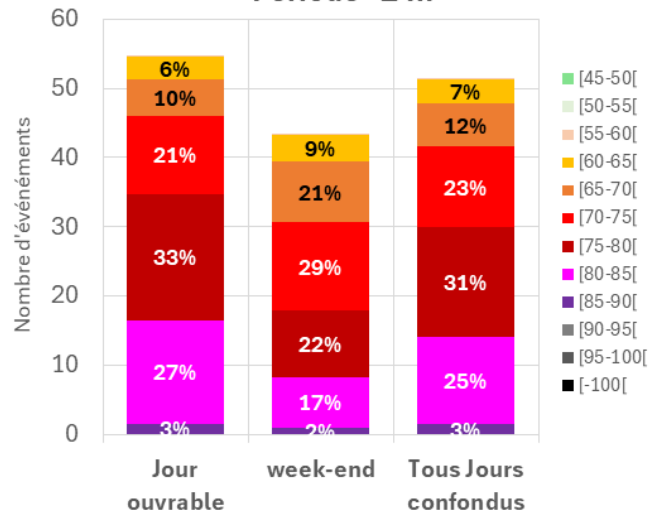
Indicateur LAeq,Tevt
Période - 18h-22h



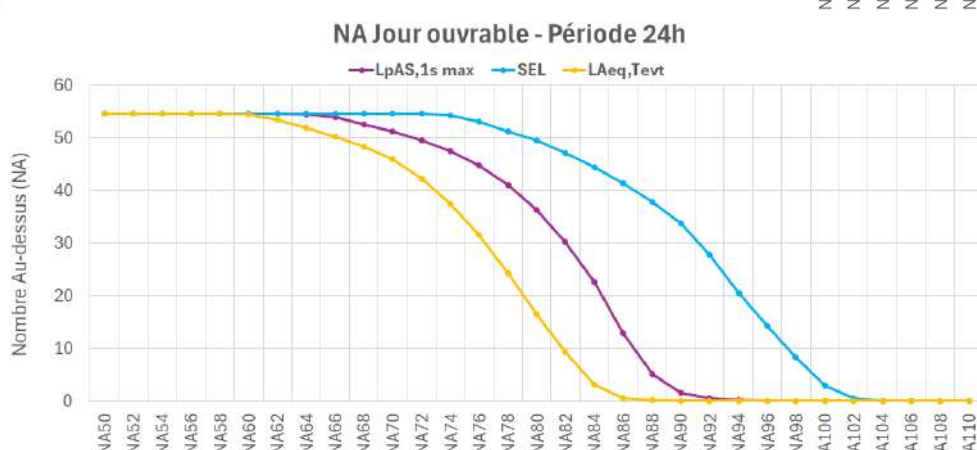
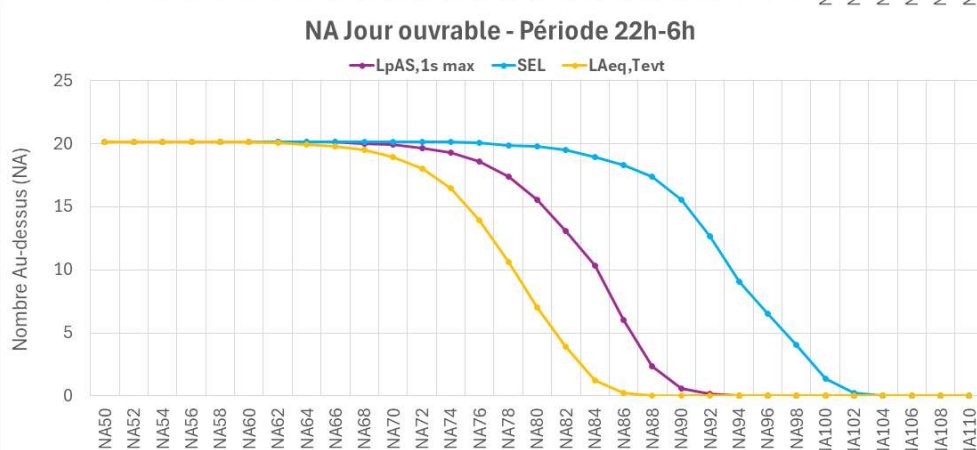
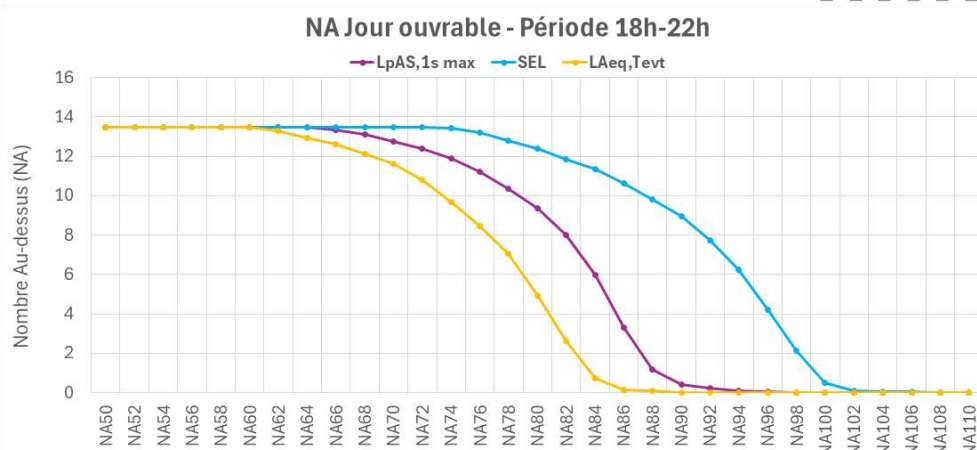
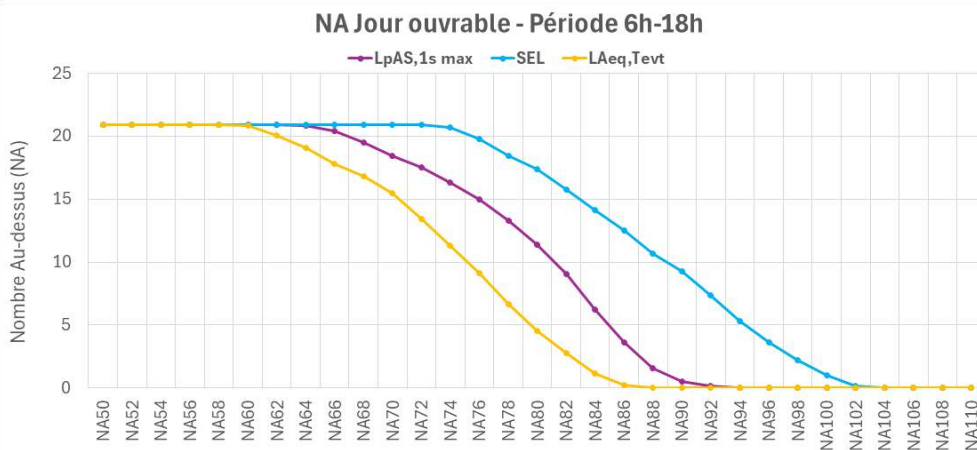
Indicateur LAeq,Tevt
Période - 22h-6h

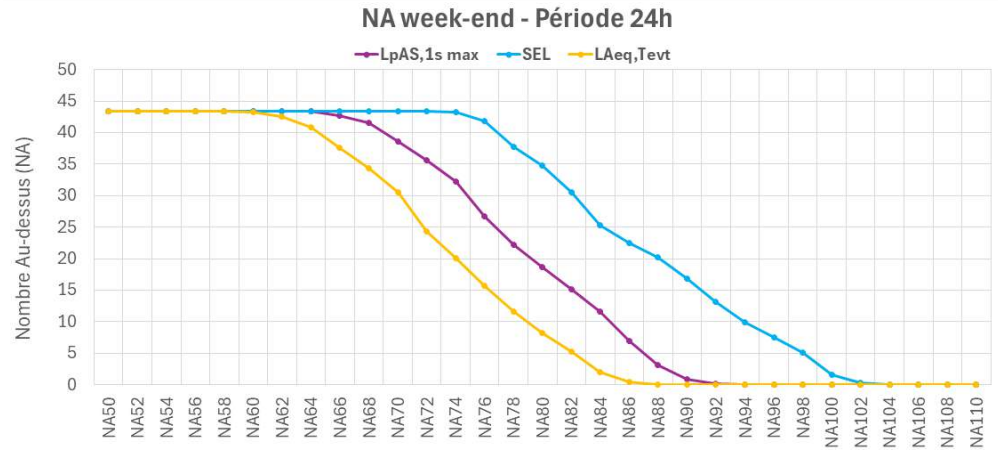
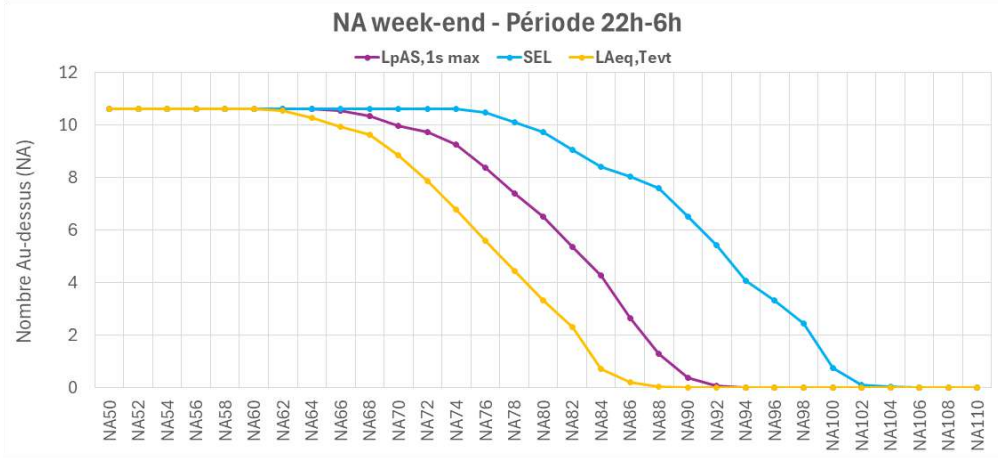
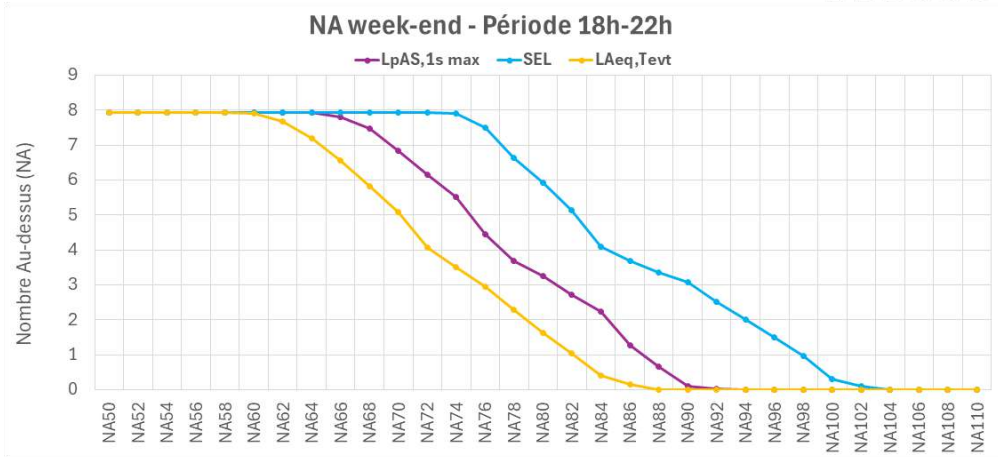
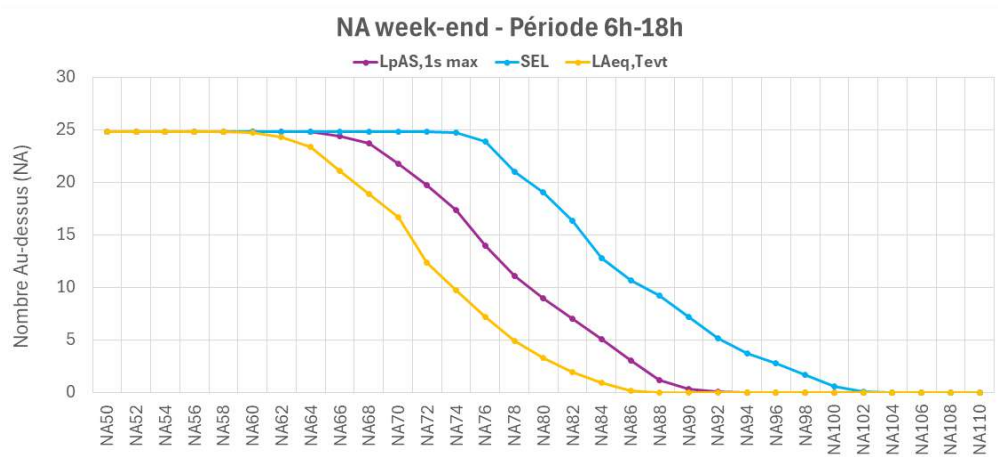


Indicateur LAeq,Tevt
Période - 24h

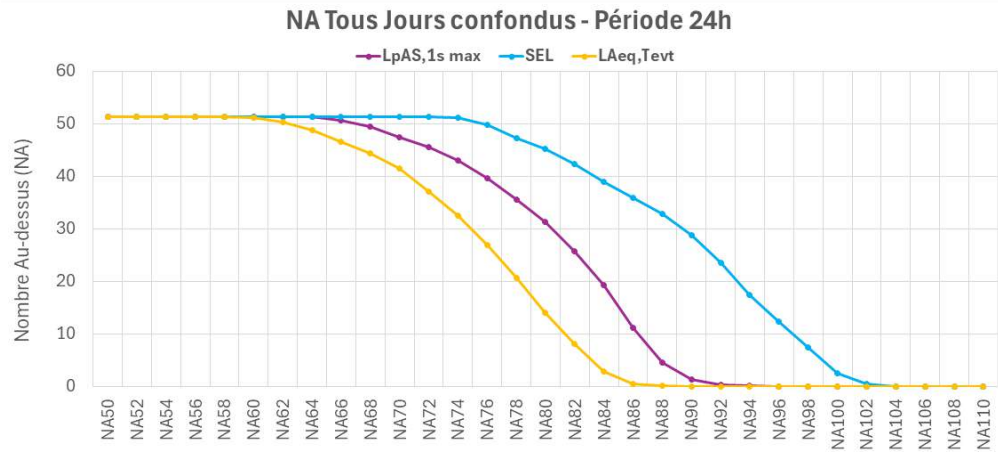
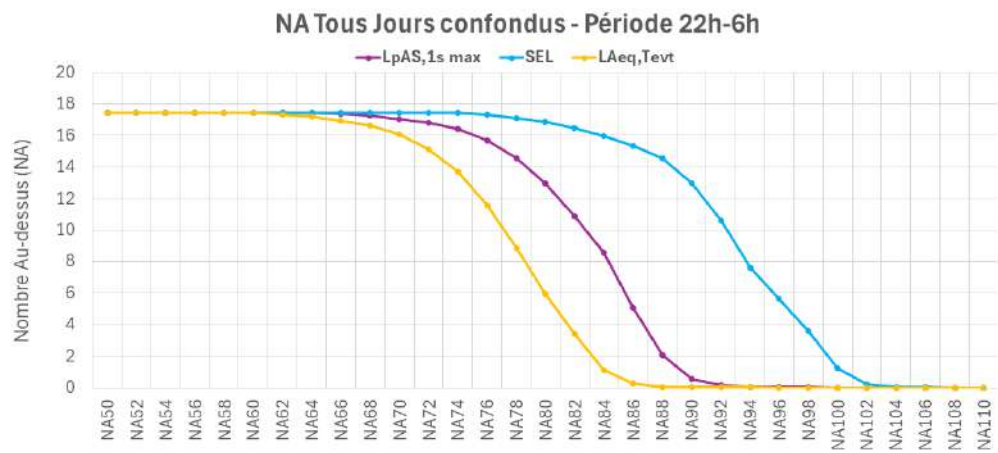
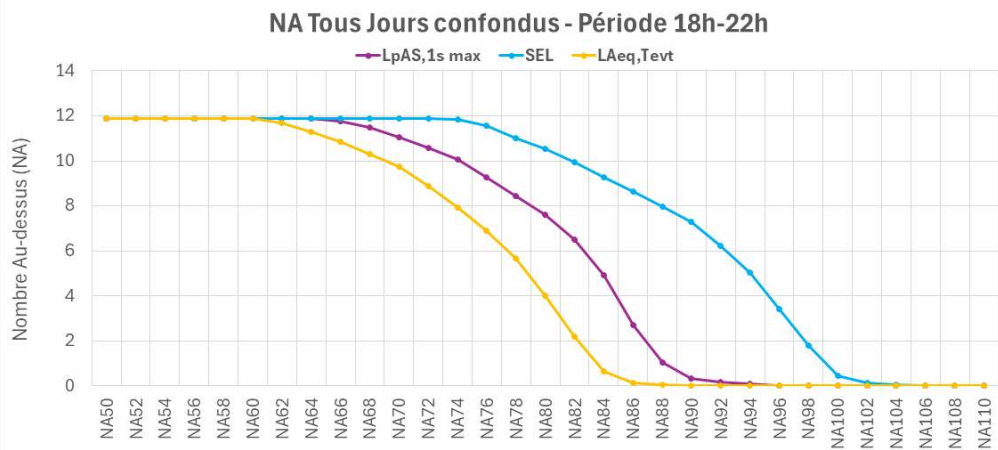
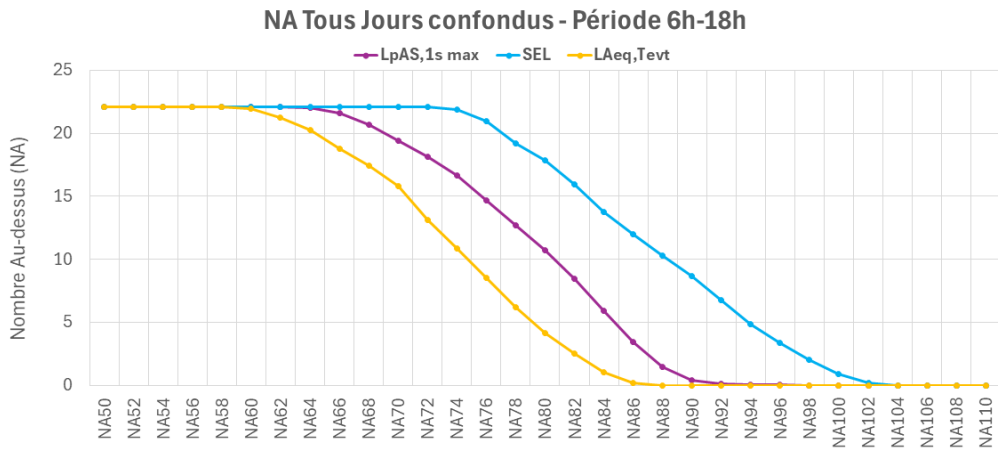


JOURS OUVRABLES





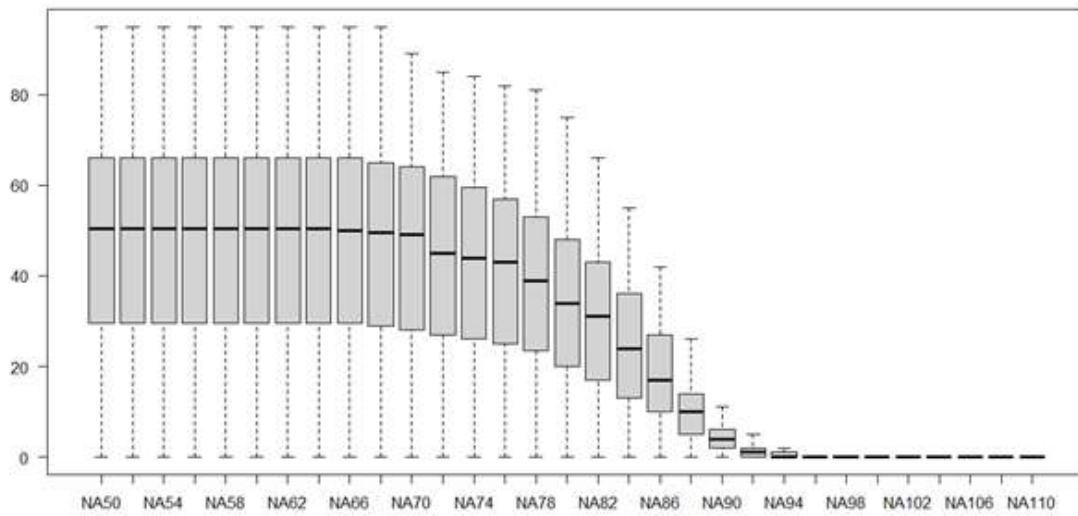
TOUS JOURS CONFONDUS



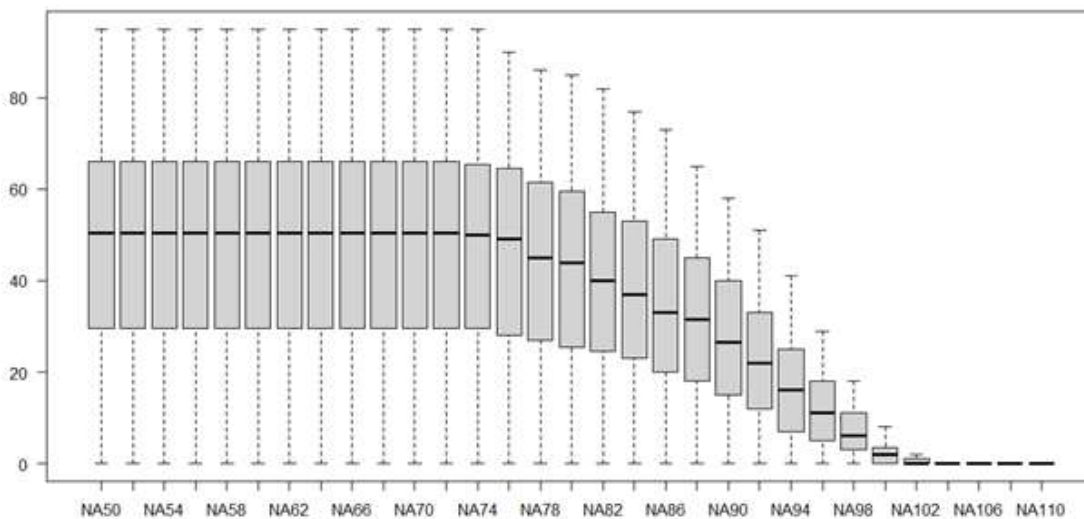
Variabilité des indicateurs NAX au cours de la période d'expérimentation

Variations des indicateurs NAX au cours des 6 mois d'expérimentation du 1^{er} novembre 2022 au 30 avril 2023
Tous Jours Confondus

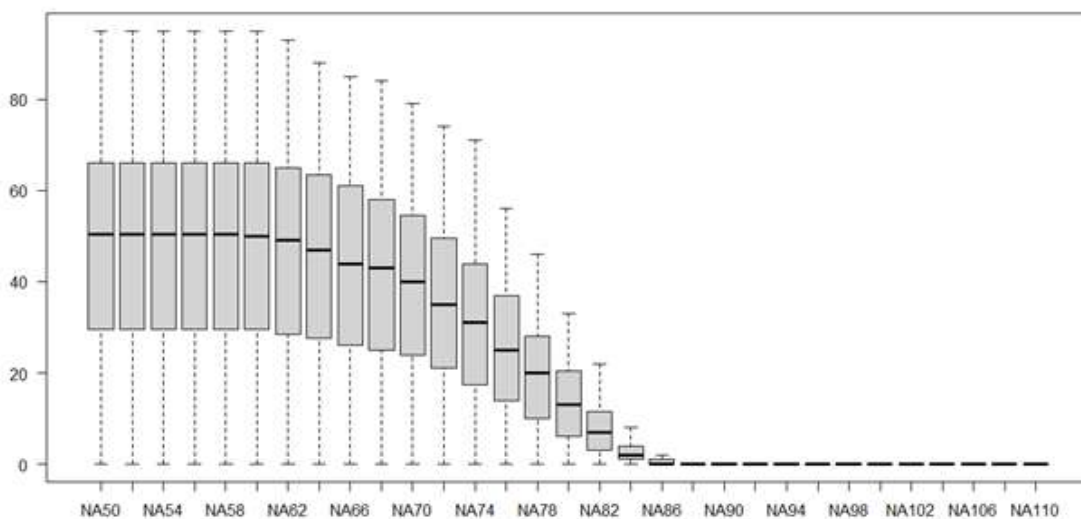
Distribution boxplot des NAX en LAmx

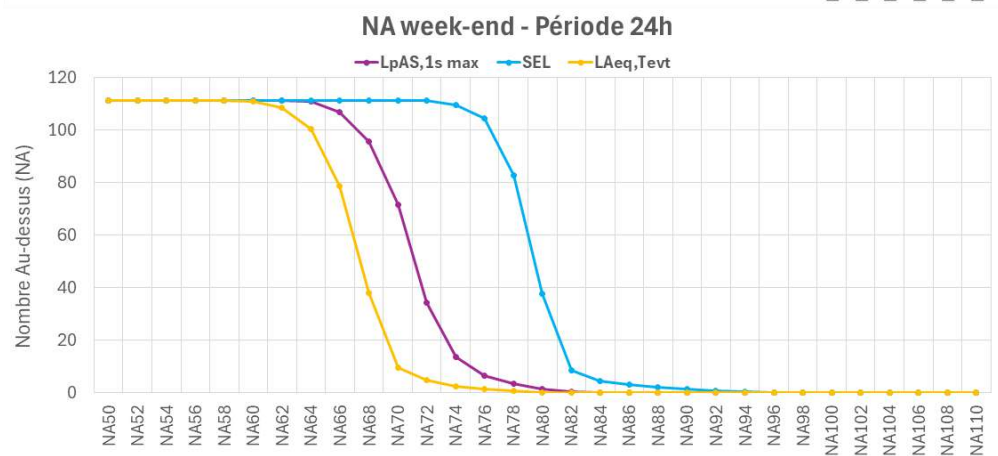
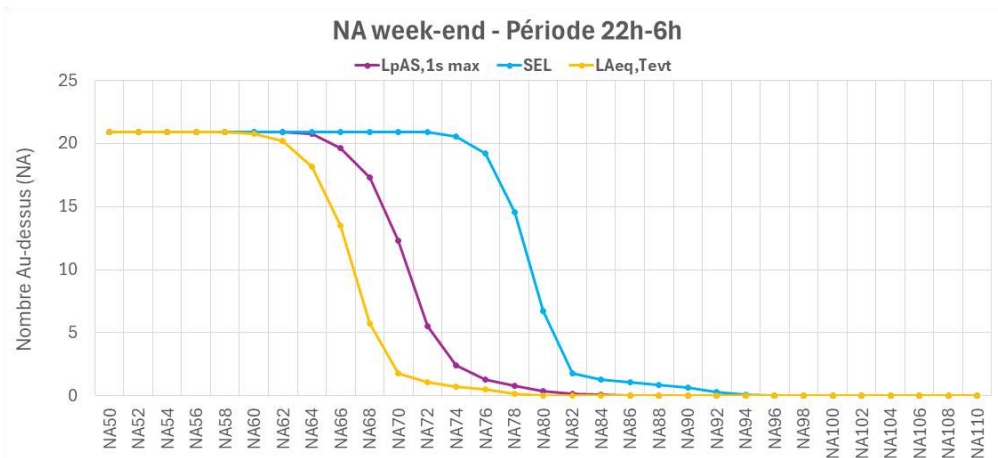
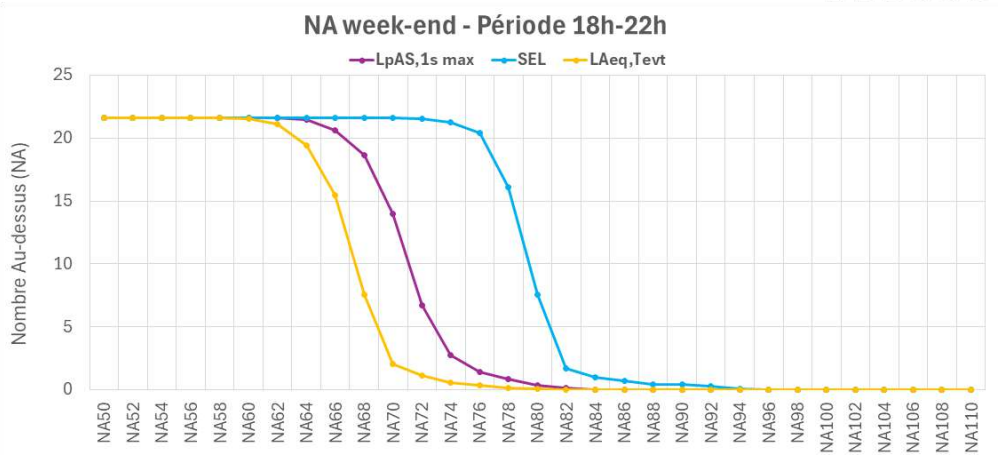
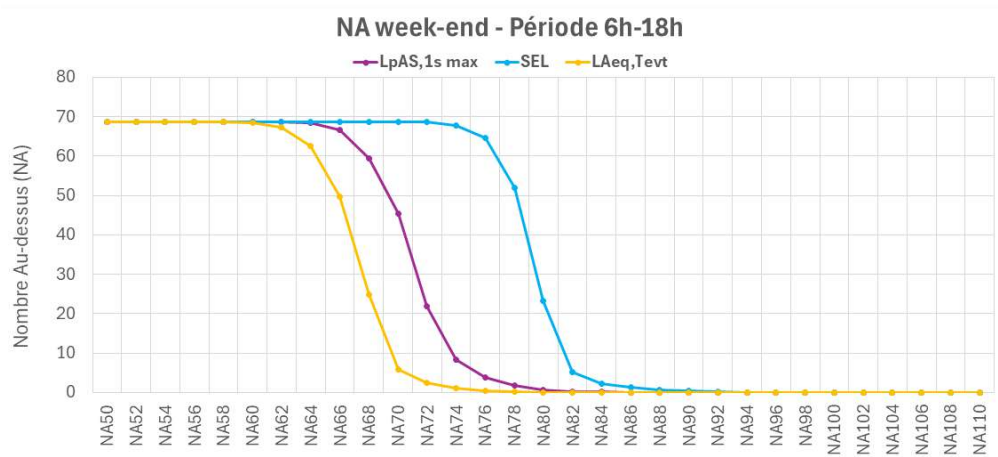


Distribution boxplot des NAX en SEL



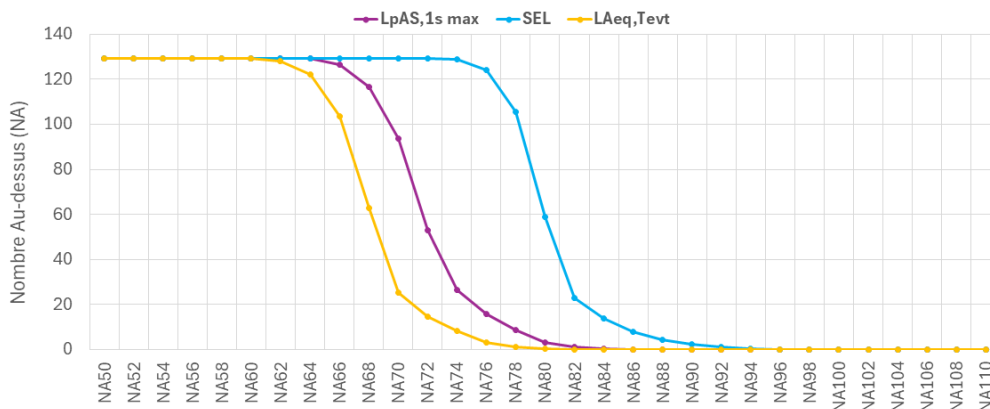
Distribution boxplot des NAX en LAeq,evt





TOUS JOURS CONFONDUS

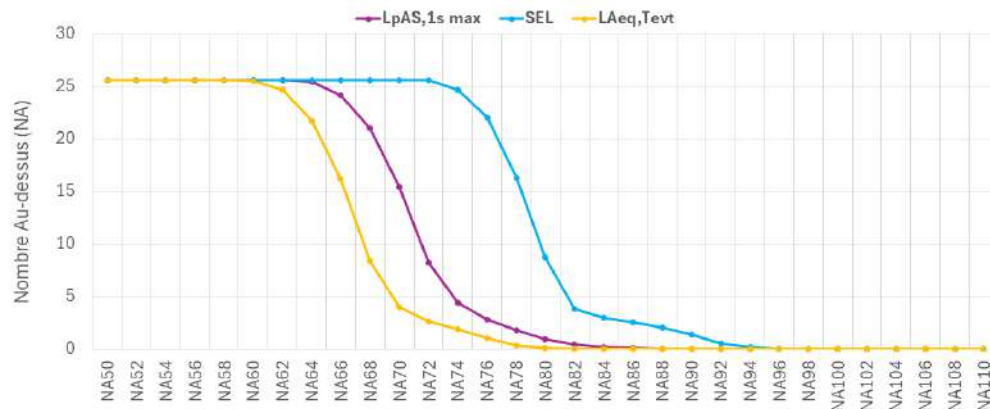
NA Tous Jours confondus - Période 6h-18h



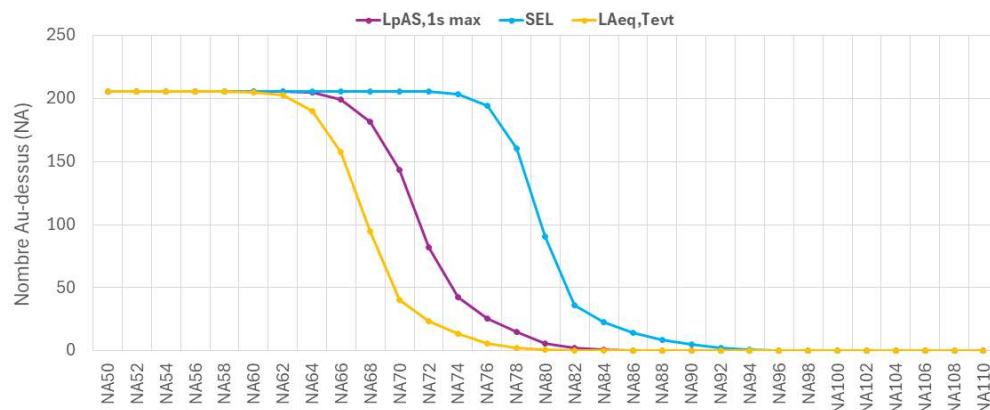
NA Tous Jours confondus - Période 18h-22h



NA Tous Jours confondus - Période 22h-6h



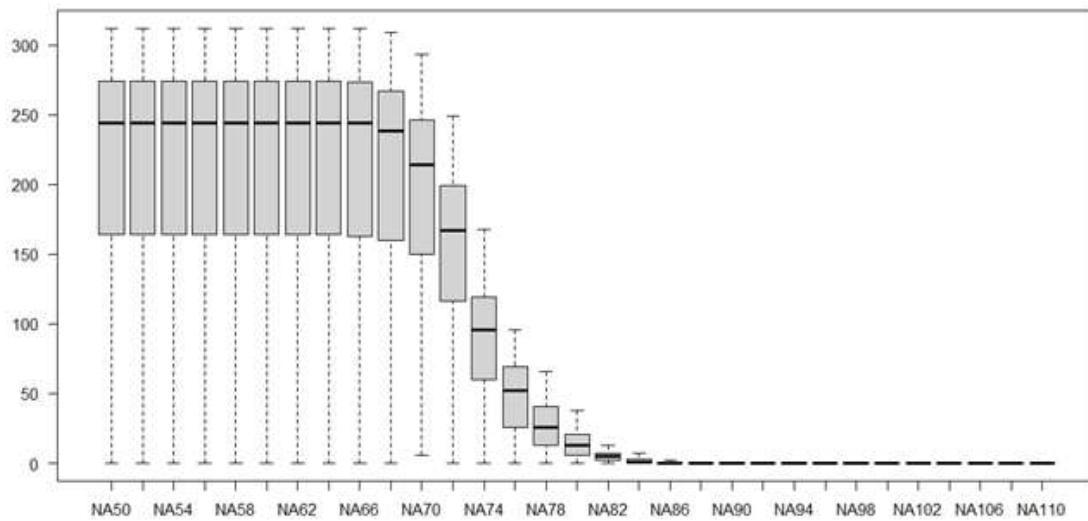
NA Tous Jours confondus - Période 24h



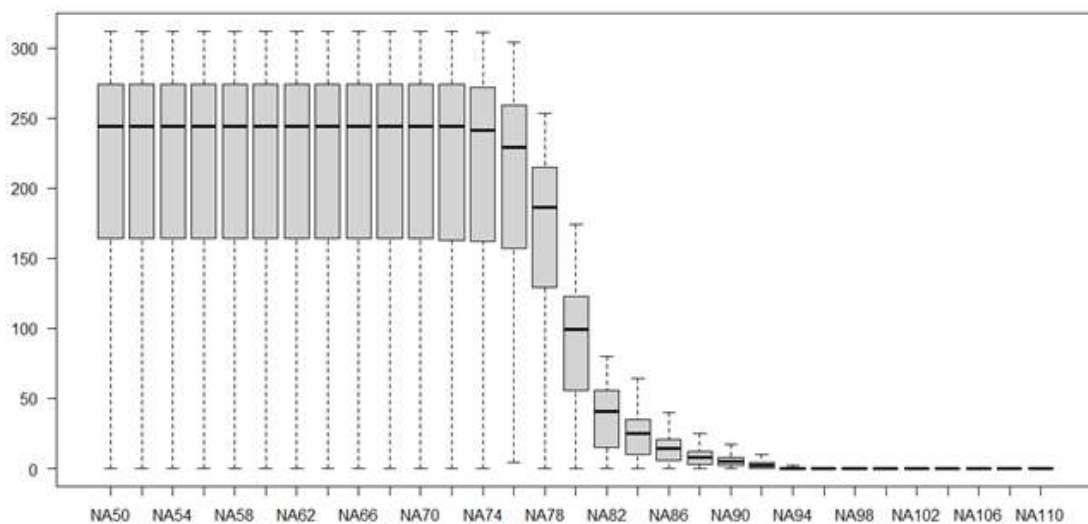
Variabilité des indicateurs NAX au cours de la période d'expérimentation

Variations des indicateurs NAX au cours des 6 mois d'expérimentation du 1^{er} novembre 2022 au 30 avril 2023
Tous Jours Confondus

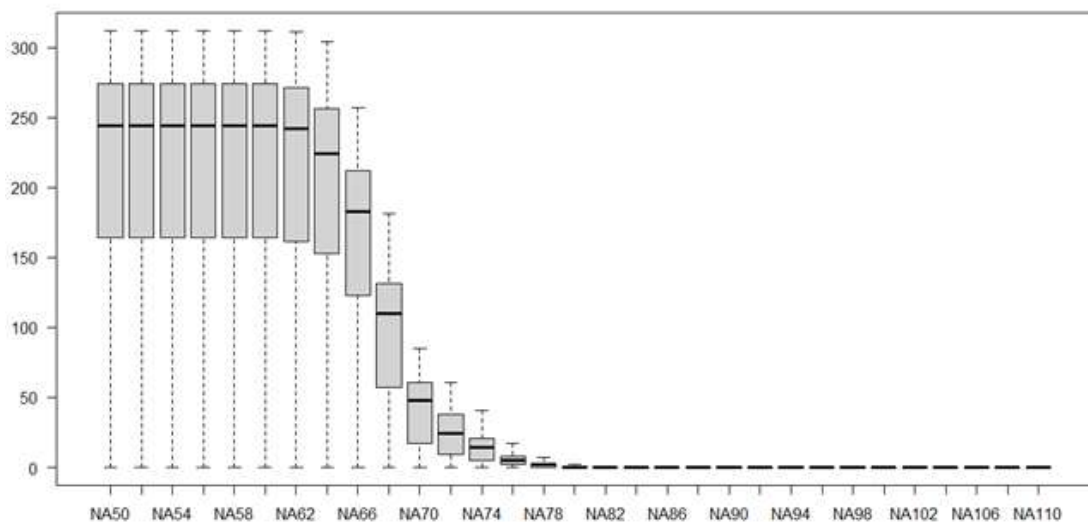
Distribution boxplot des NAX en LAmx



Distribution boxplot des NAX en SEL



Distribution boxplot des NAX en LAeq,evt



Fiche de mesure Acoucité



Descriptif du site de mesure



Vue de la station de mesure



Vue du site

Nom usuel du site	Rillieux-la-Pape
Nom du site (nomenclature gestionnaire)	
Département	69
Coordonnées_Lat_Long	45.829289, 4.890843
Adresse	606 Chemin du Creux
Code Postal	69140
Ville	Rillieux-la-Pape
Gestionnaire des voies	
Numéro de ligne	
Type de site	Péri-urbain
Vitesse maximale de circulation (en km/h)	90 (TaGV) et 120 (TER)
Vitesse moyenne réelle de la ligne (mesurée) en km/h	
Classement sonore de la voie	
Distance du récepteur à la voie la plus proche (en mètres)	10
Hauteur du récepteur par rapport au sol (en mètres)	4
Type de mesure (champ libre / façade)	Champ libre
Nombre de voies	2 TaGV et 1 TER
Type traverses	
Présence d'une protection acoustique (écran, merlon...)	Ecran bas (TER) et merlon (TaGV)
Hauteur terrain récepteur par rapport hauteur terrain voies (en mètres)	
Autres sources potentielles de bruit 1	Traffic routier
Autres sources potentielles de bruit 2	Traffic aérien
Autres sources potentielles de bruit 3	
Autres sources potentielles de bruit 4	
Date de début des mesures	03/10/2022
Date de fin des mesures	19/10/2022
Durée totale de la mesure exploitée (en jours)	16

Trafic ferroviaire moyen pendant l'expérimentation (sur la période de mesure exploitée)

		Trafic Moyen Journalier		
Catégorie	Période	Tous Jours Confondus	Jours Ouvrables	Week-End
Tous types de matériels confondus	Journée 6h-18h			
	Soirée 18h-22h			
	Nuit 22h-6h			
	Total 24 heures			
Transilien / RER	Journée 6h-18h			
	Soirée 18h-22h			
	Nuit 22h-6h			
	Total 24 heures			
TER / Intercités	Journée 6h-18h			
	Soirée 18h-22h			
	Nuit 22h-6h			
	Total 24 heures			
Corail	Journée 6h-18h			
	Soirée 18h-22h			
	Nuit 22h-6h			
	Total 24 heures			
TaGV	Journée 6h-18h			
	Soirée 18h-22h			
	Nuit 22h-6h			
	Total 24 heures			
Fret / travaux	Journée 6h-18h			
	Soirée 18h-22h			
	Nuit 22h-6h			
	Total 24 heures			
Métro	Journée 6h-18h			
	Soirée 18h-22h			
	Nuit 22h-6h			
	Total 24 heures			
Tramway	Journée 6h-18h			
	Soirée 18h-22h			
	Nuit 22h-6h			
	Total 24 heures			

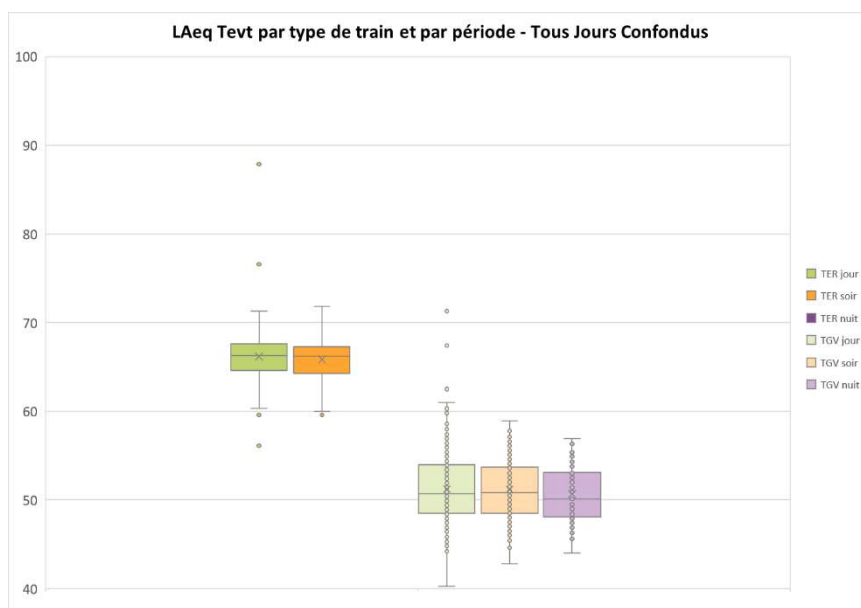
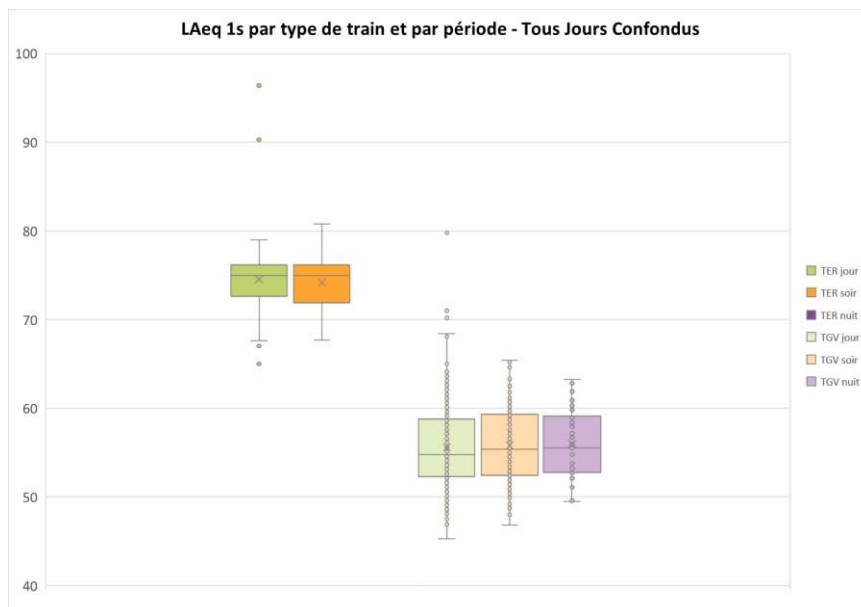
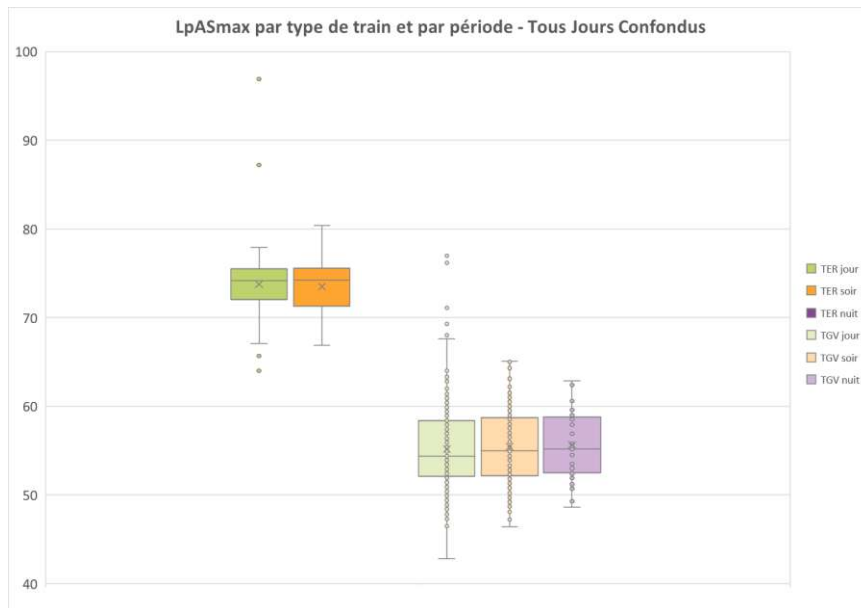
Données ORE – SNCF-Réseau

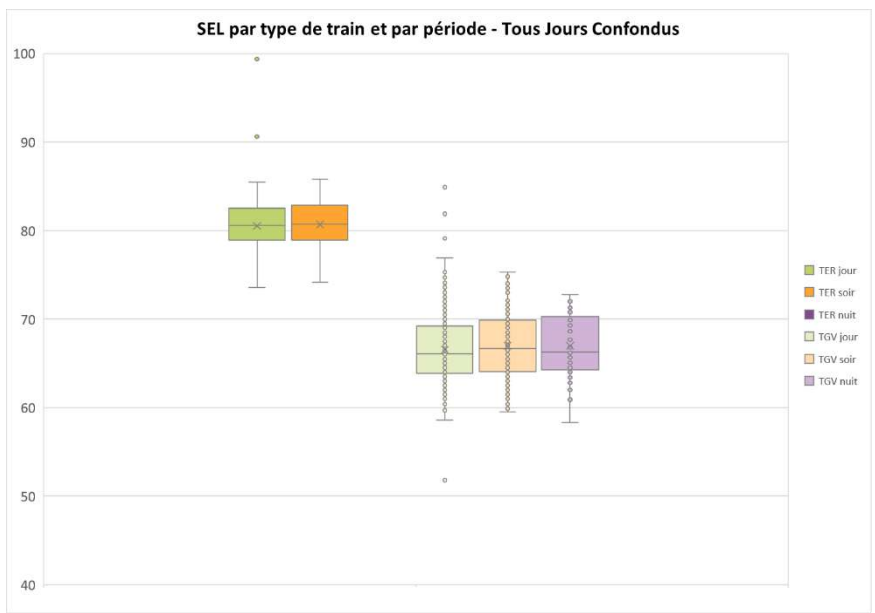
Niveaux de bruit, nombre d'événements ferroviaires et compteur à points (NPC) – Moyenne journalière par périodes

	TOUS JOURS CONFONDUS					JOURS OUVRABLES					WEEK-END				
	6h-18h	18h-22h	22h-6h	24h	DEN	6h-18h	18h-22h	22h-6h	24h	DEN	6h-18h	18h-22h	22h-6h	24h	DEN
Bruit ambiant (toutes sources sonores confondues) en dB(A)	51.5	51.5	36.5	49.8	52.0										
Contribution du bruit ferroviaire en dB(A)	49.3	49.8	28.6	47.7	49.8										
Contribution sonore énergétique du bruit ferroviaire dans le bruit ambiant en %	60%	68%	16%	62%	60%										
Nombre total de trains détectés au niveau de la station de mesure	1174	457	51	1682	-										
Nombre total de trains détectés au niveau de la gare la plus proche (SNCF-ORE)															
Noise Point Counter (NPC) ou compteur d'événements sonores à points															
Noise Point Counter (NPC) - moyenne horaire															

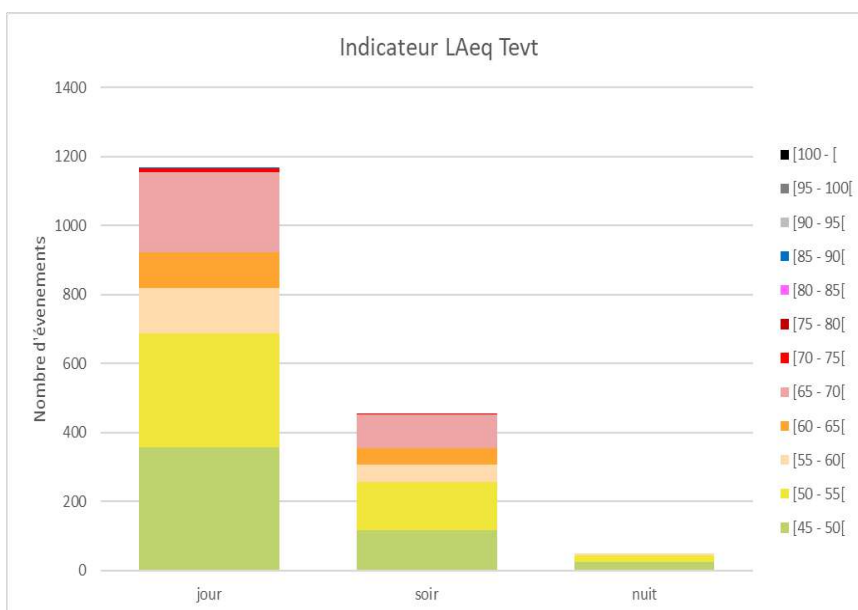
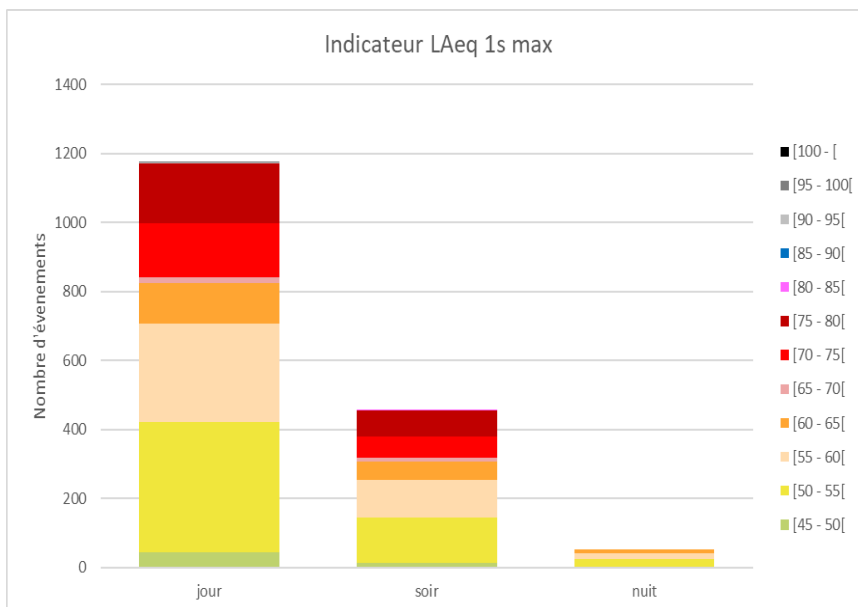
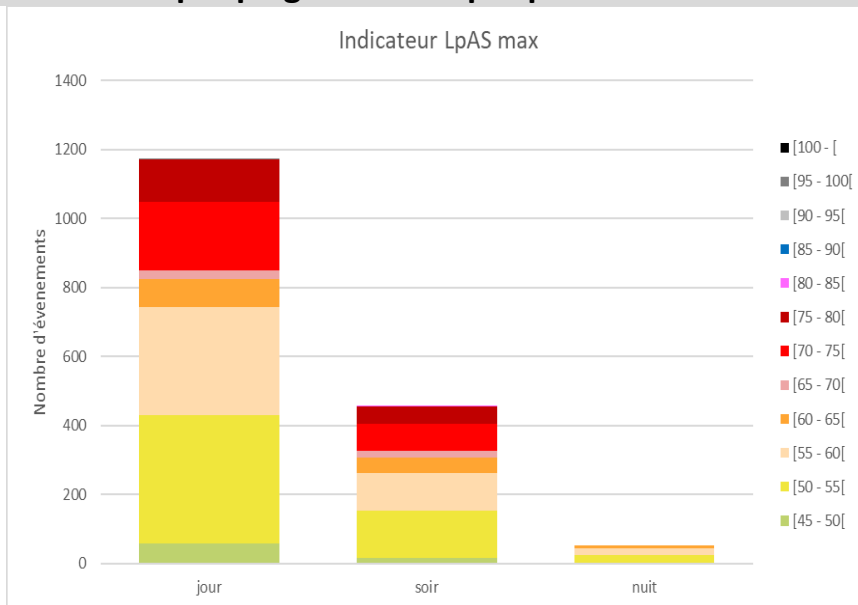
DEN : Day-Evening-Night

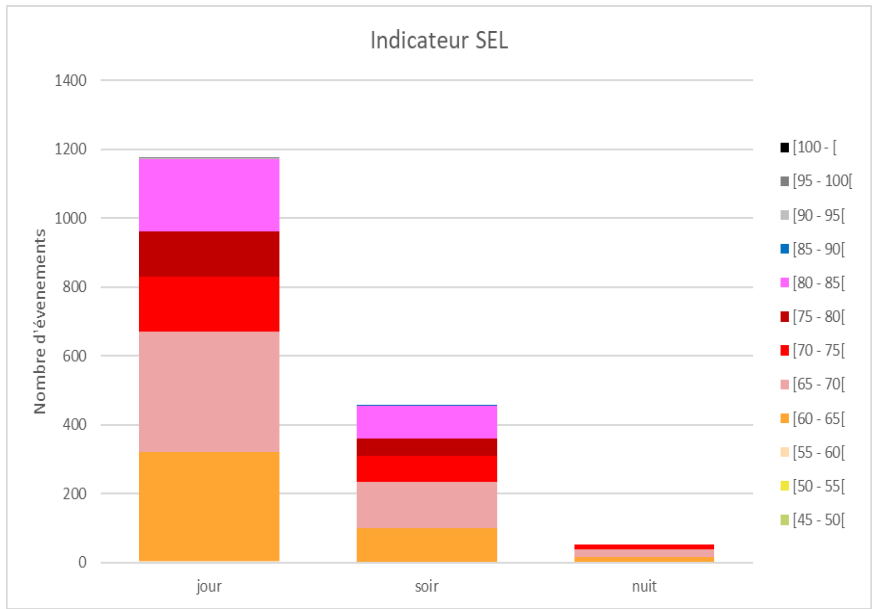
Statistiques par familles de trains, par périodes et par type de jour (boxplot)



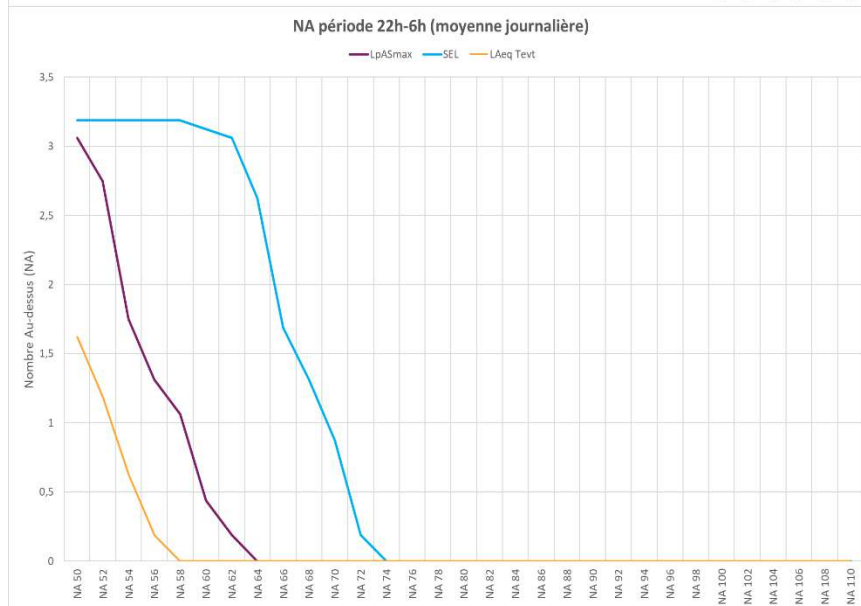
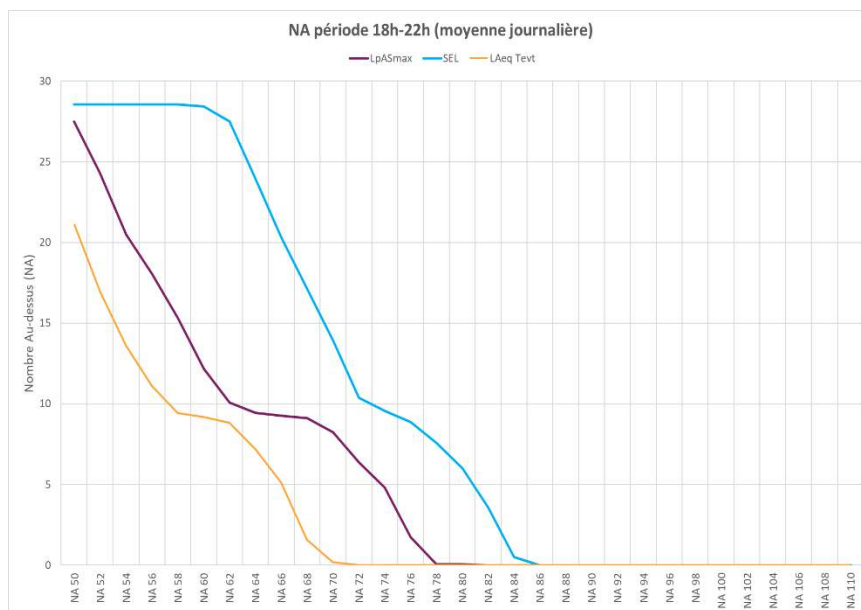
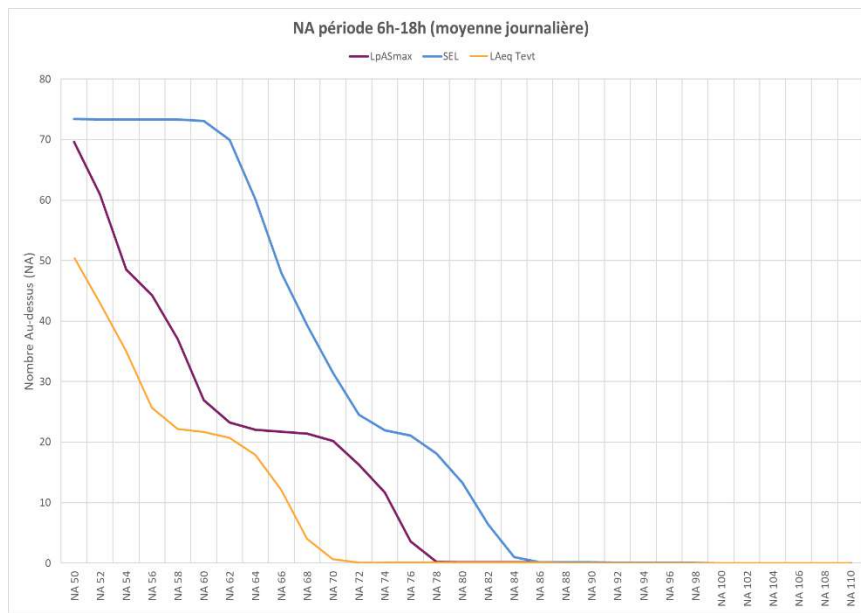


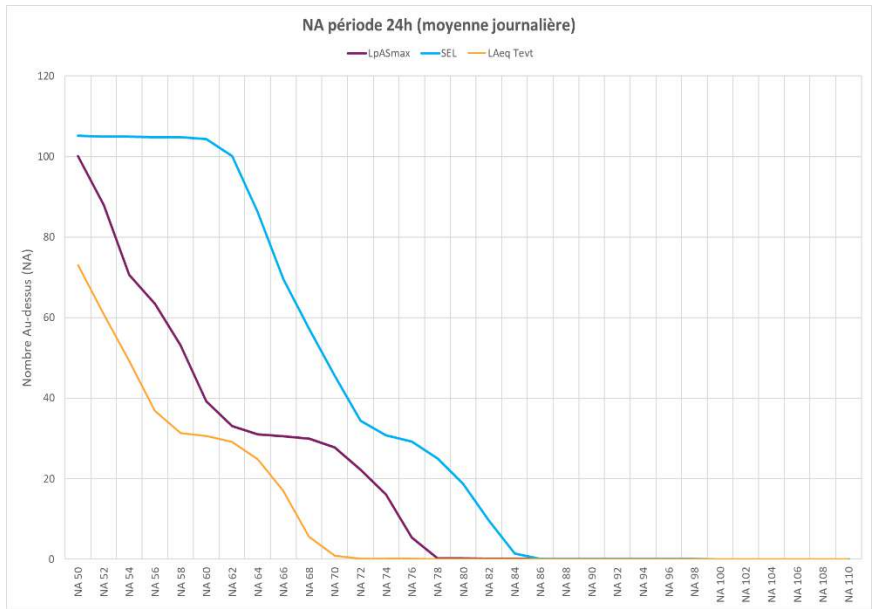
Distribution des indicateurs par plages de 5 dB par périodes





TOUS JOURS CONFONDUS





Variabilité des indicateurs N_{Ax} au cours de la période d'expérimentation

Donnée non-calculée compte tenu de la durée limitée des mesures (16 jours)

Fiches de mesure RATP



Ligne n°8 - Métro Fer



Dates 04/04/2023 au 18/04/2023

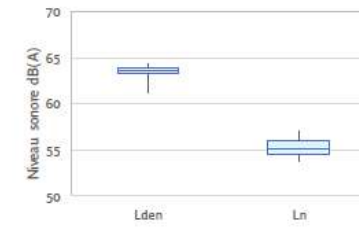
Adresse 6 rue de Gourcuff Creteil

Lden 61 dB(A)
Ln 50 dB(A)

Nombre de passages fer 6453
Nombre de passages route 2625

Vue directe sur la voie M8 - Présence d'un joint

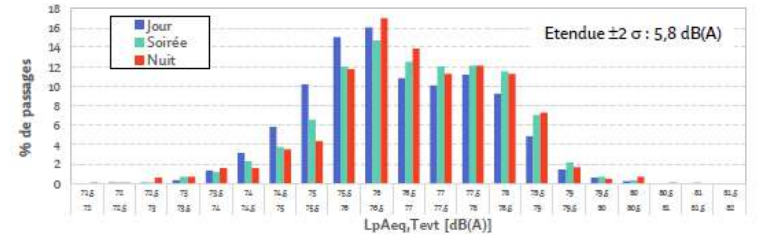
Contribution sonore



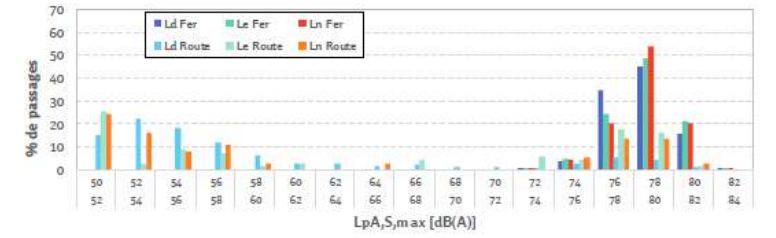
Evolution de l'ambiance acoustique



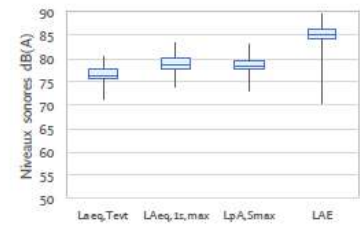
Catégorisation (pas de 0,5dB(A))



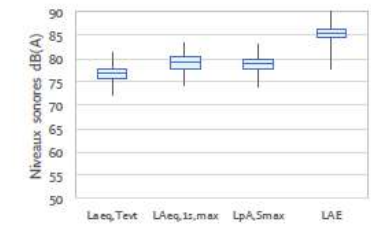
Catégorisation pas de 2dB(A)



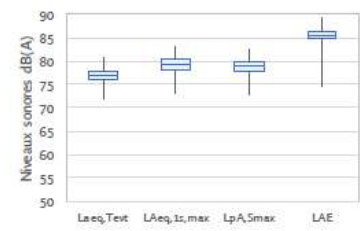
Statistique (Ld)



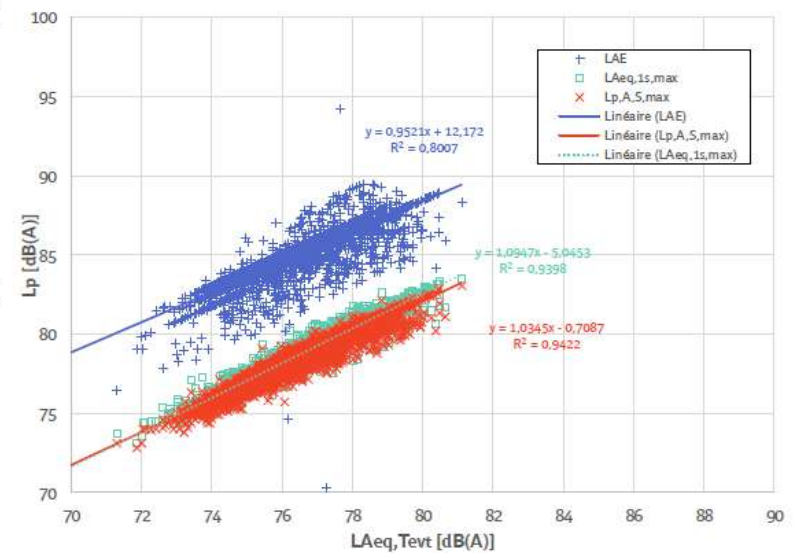
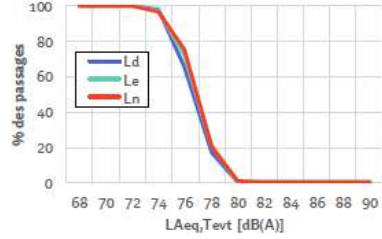
Statistique (Le)



Statistique (Ln)



NAX en % de passages (moyenne sur 14 jours)



Ligne n°6 - Métro Pneus



Dates 29/04/2023 au 11/05/2023

Adresse

Lden 60 dB(A)

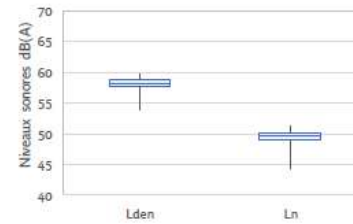
Ln 50 dB(A)

Nombre de passages fer 7043

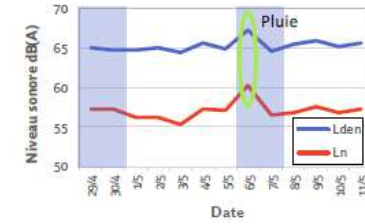
Nombre de passages route 116287

Vue sur boulevard routier + Métro

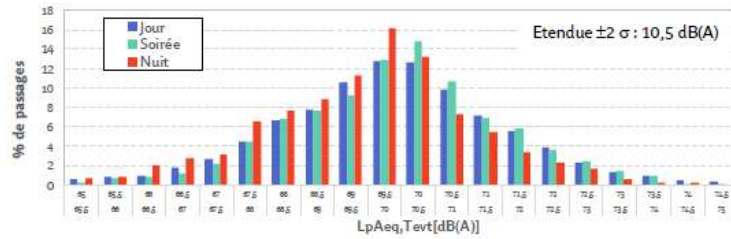
Contribution sonore



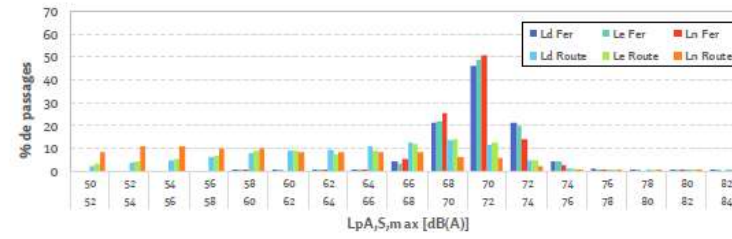
Evolution de l'ambiance acoustique



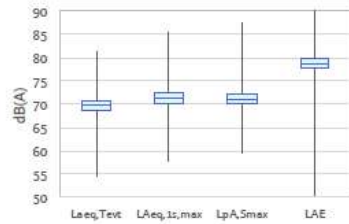
Catégorisation (pas de 0,5dB(A))



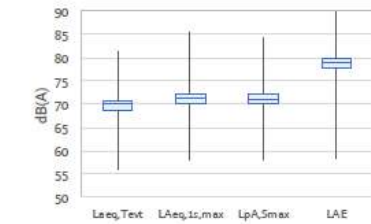
Catégorisation pas de 2dB(A)



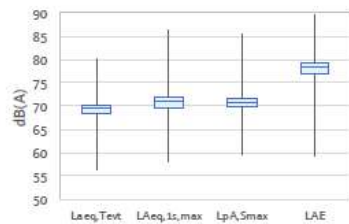
Statistique (Ld)



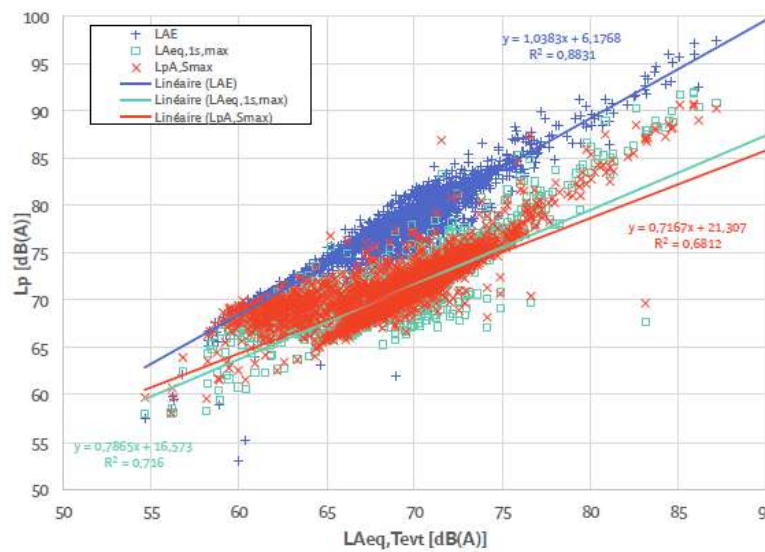
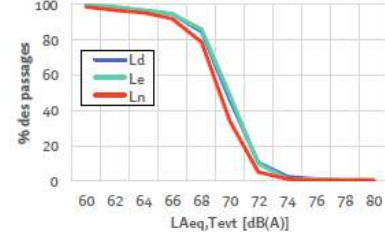
Statistique (Le)



Statistique (Ln)



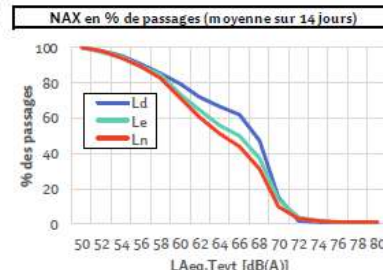
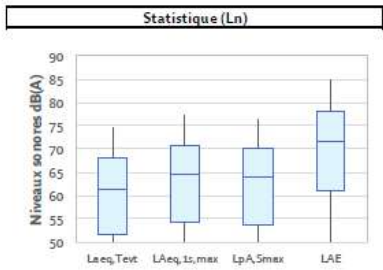
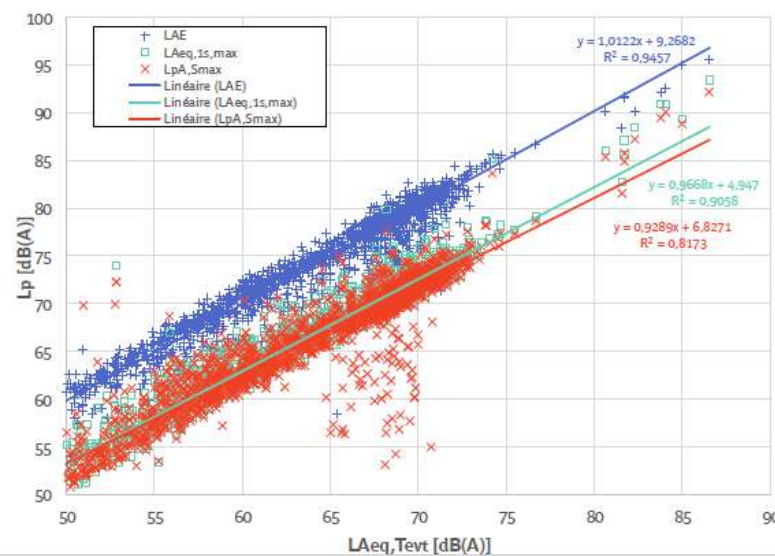
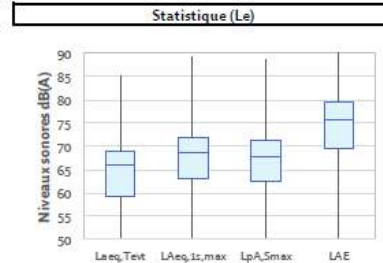
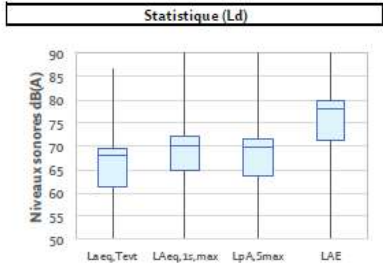
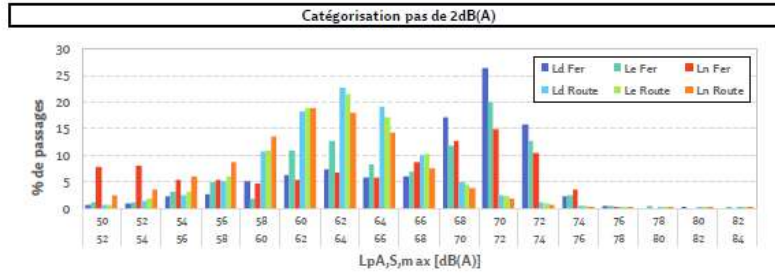
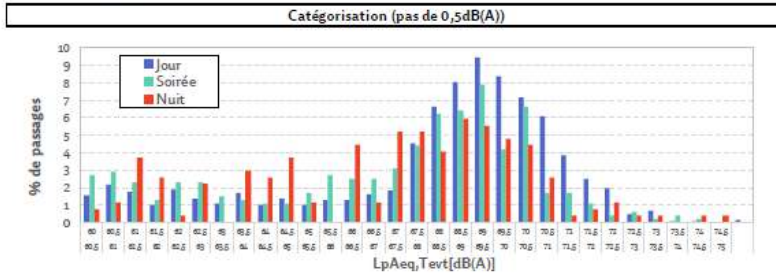
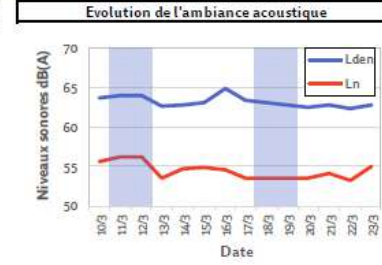
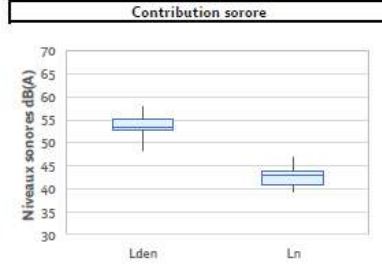
NAX en % de passages (moyenne sur 14 jours)



Ligne T1 - Tramway Fer



Dates 10/03/2023 au 23/03/2023
 Adresse Boulevard de la Redoute Asnières
 Lden 61 dB(A)
 Ln 50 dB(A)
 Nombre de passages fer 7043
 Nombre de passages route 88766
 Vue sur boulevard routier + tram



RER A - Contact Fer



Dates 29/03/2023 au 12/04/2023

Adresse Avenue Gambetta St. Mandé

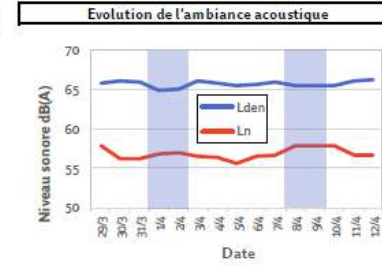
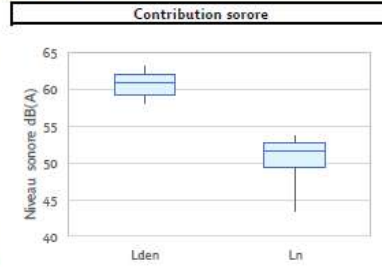
LAeq 6h-22h 68 dB(A)

LAeq 22h-6h 60 dB(A)

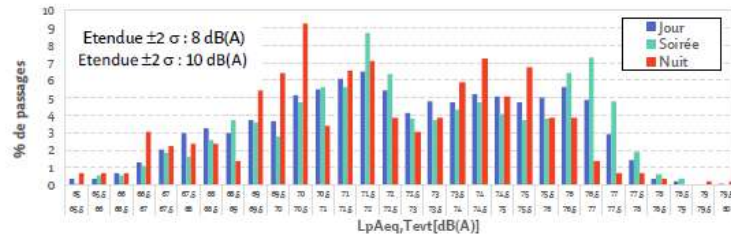
Nombre de passages fer 6857

Nombre de passages route 81211

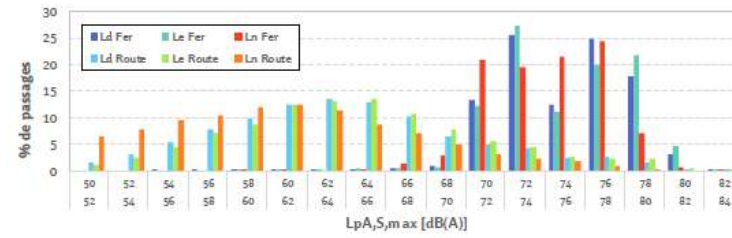
Route + RER. Présence de Joints : 2 comportements



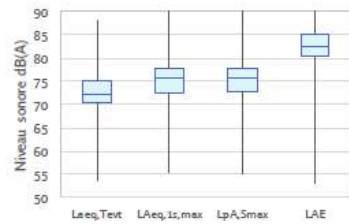
Catégorisation (pas de 0,5dB(A))



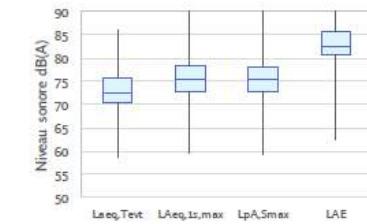
Catégorisation pas de 2dB(A)



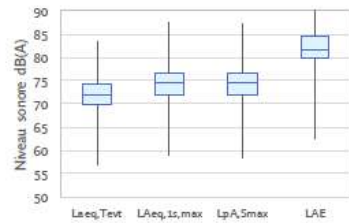
Statistique (Ld)



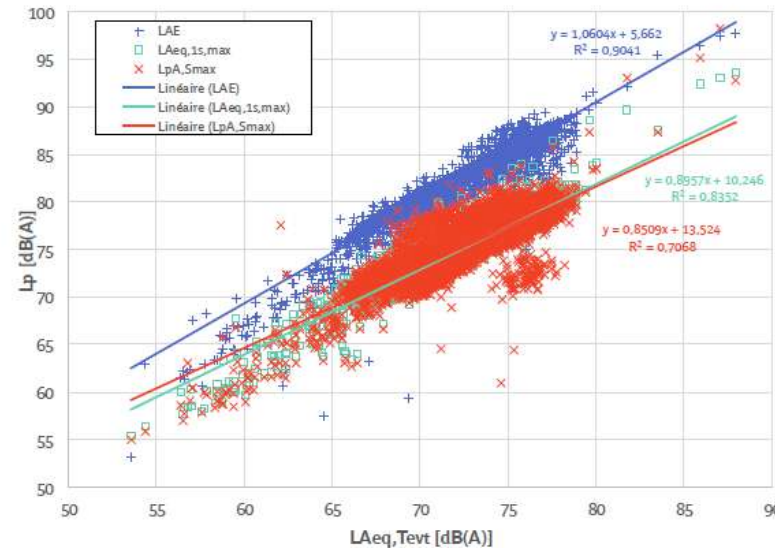
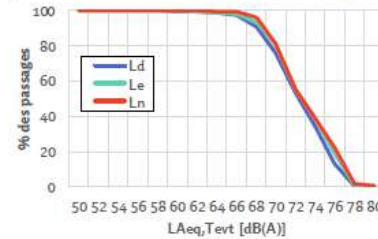
Statistique (Le)



Statistique (Ln)



NAX en % de passages (moyenne sur 15 jours)



Ligne T5 - Tramway pneus



Dates 09/03/2023 au 21/03/2023

Adresse Avenue de la Redoute Asnières/Seine

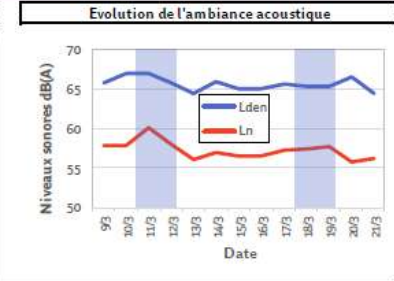
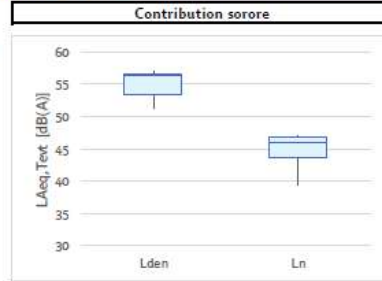
L_{Aeq} 6h-22h 60 dB(A)

L_{Aeq} 22h-6h 50 dB(A)

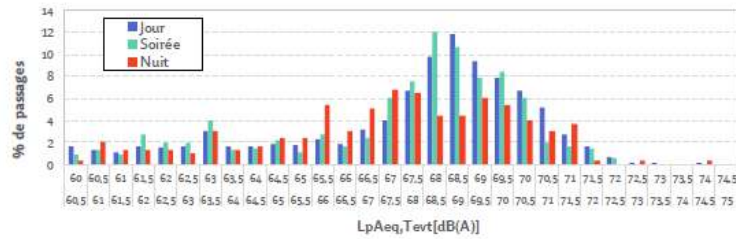
Nombre de passages fer 2360

Nombre de passages route 58157

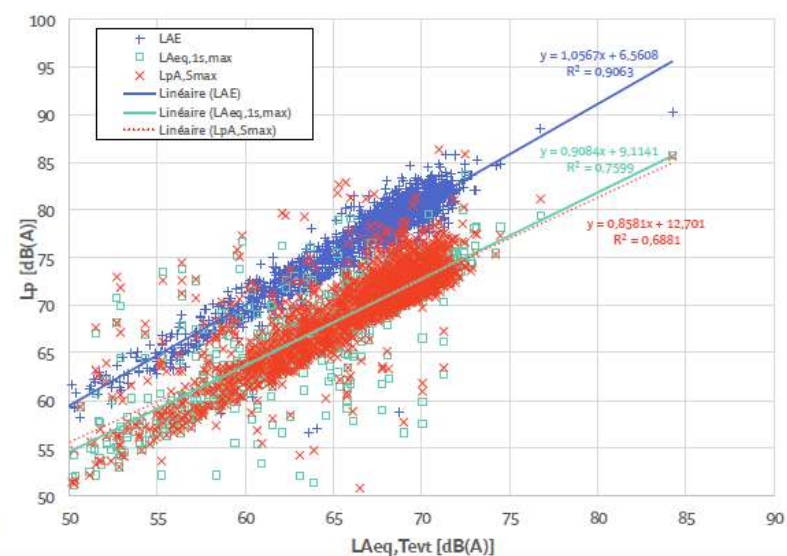
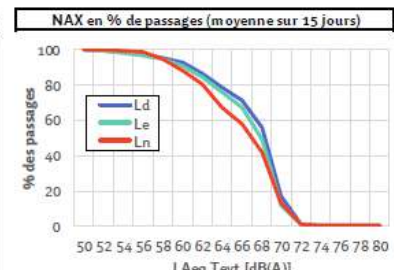
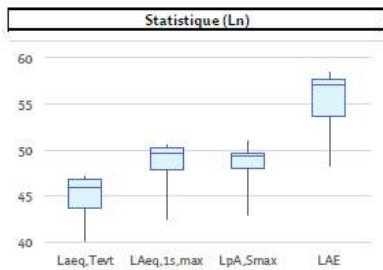
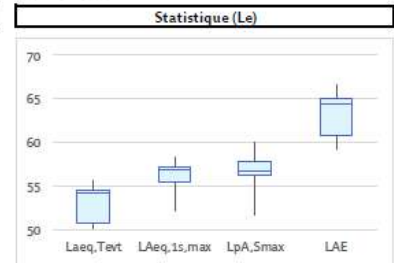
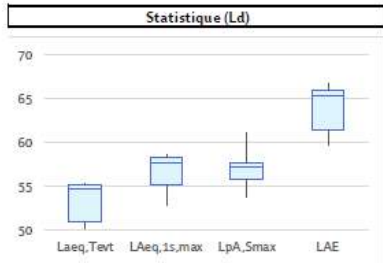
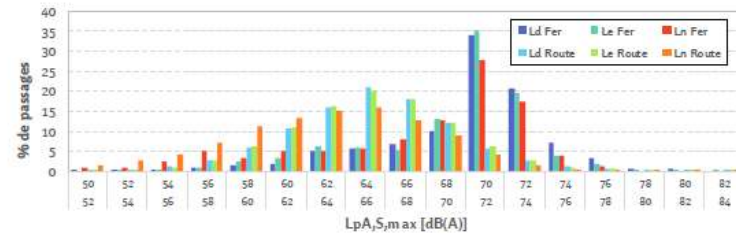
Vue sur boulevard routier + tramway pneus



Catégorisation (pas de 0,5dB(A))



Catégorisation pas de 2dB(A)



Fiches de mesure SNCF



FICHE DE SYNTHÈSE SITE « LE TEIL » - FRET – mesure expérimentation arrêté 29/09/2022 – SNCF
Descriptif du site

Le Teil (07)

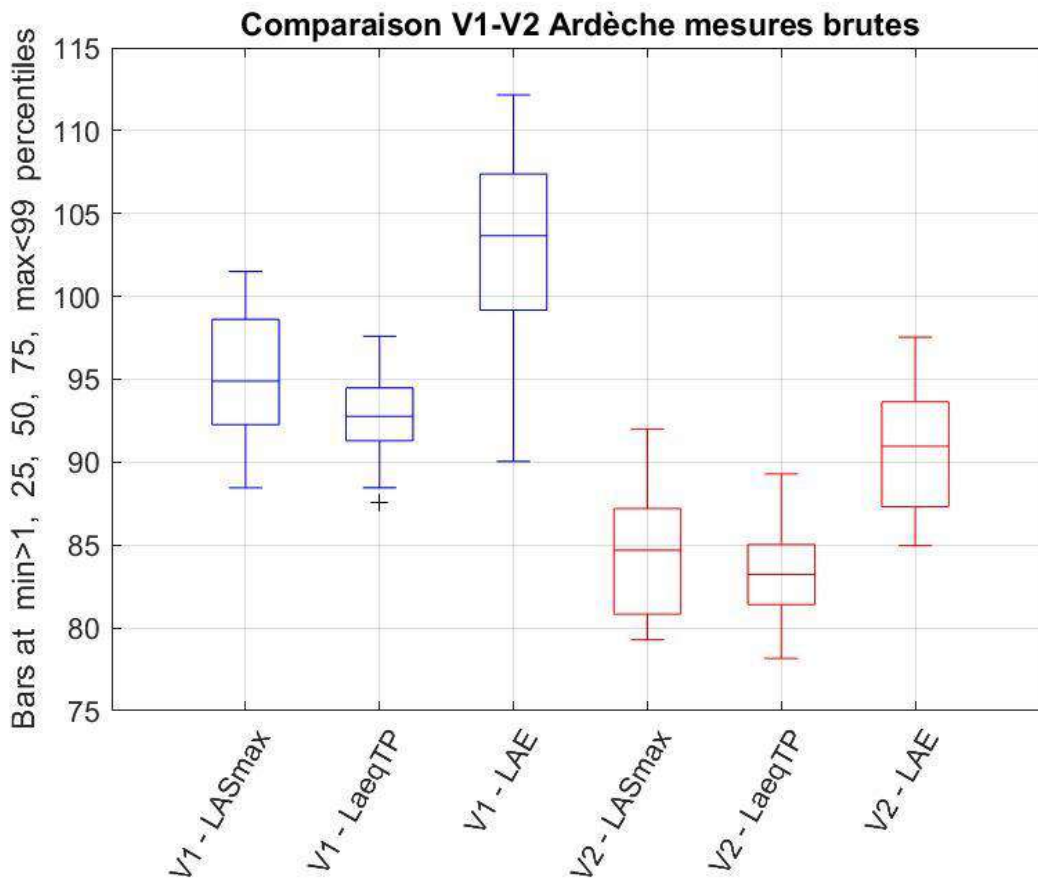
Instrumentation chez le riverain

Instrumentation en bord de voies (V2)

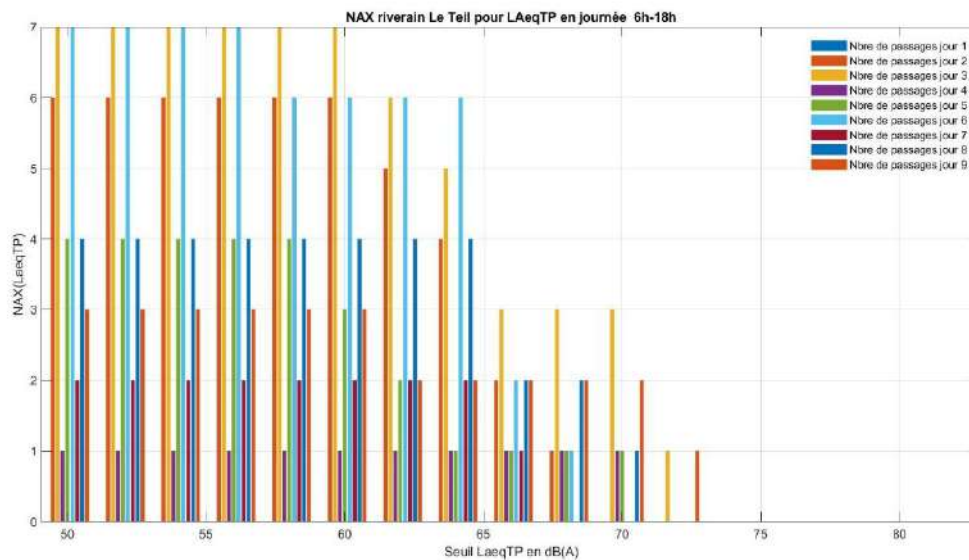


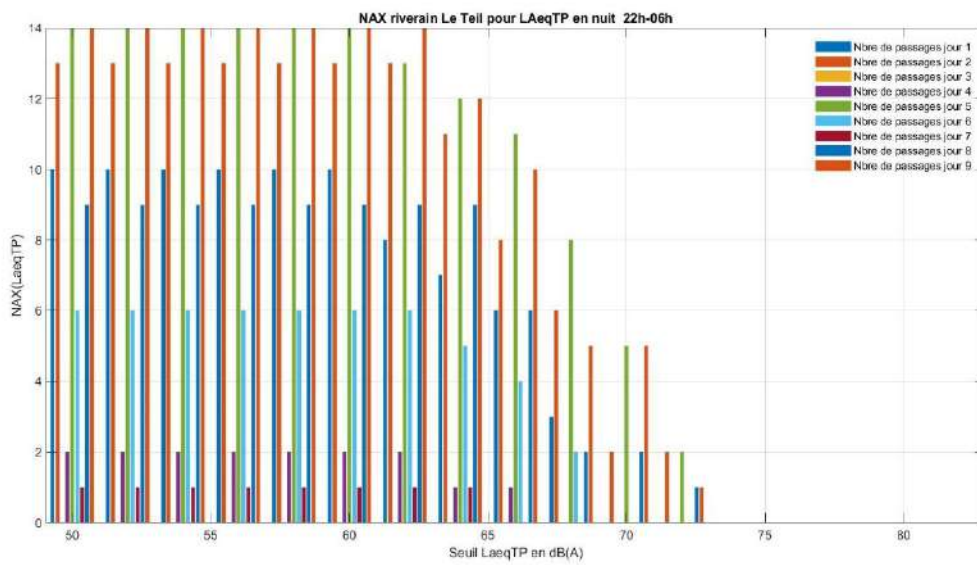
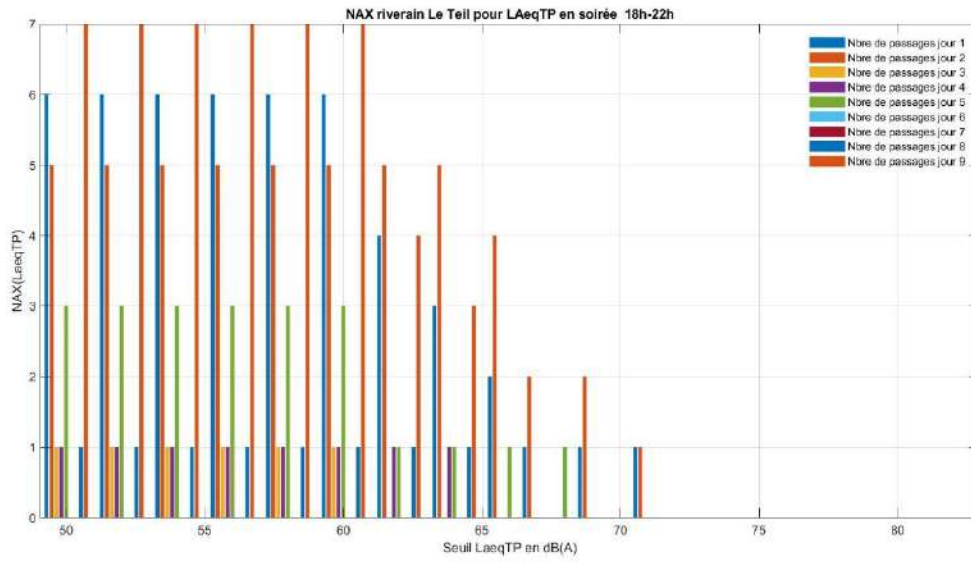
Nom du Site	Ardèche Fret
Département	7
Coordonnées_Lat_Long (en décimales)	44.550886 , 4.685864
Adresse	Bord de voies (coté V1)
Code postal	07400
Ville	Le Teil
Gestionnaire des voies	SNCF Réseau
Numéro de Ligne	800000
Type de site	FRET et environnement urbain peu dense
Classement sonore de la voie	
Distance entre la voie et le système de mesure (en m)	70 m pour le riverain et 7m pour la voie
Hauteur du système de mesure par rapport au sol (en m)	1.6
Type de mesure (champ libre ou façade)	Champ libre
Nbre de voies	2
Type de traverses	Béton sur ballast
Vitesses de circulation (max en km/h)	105
Vitesses moyennes des passages	93
Présence de protection acoustique écran etc)	Non
Hauteur terrain récepteur par rapport hauteur terrain voies (en mètres)	-4m chez le riverain
Autres sources potentielles de bruit 1	site urbain
Durée totale de la mesure exploitée (en jours)	7 jours

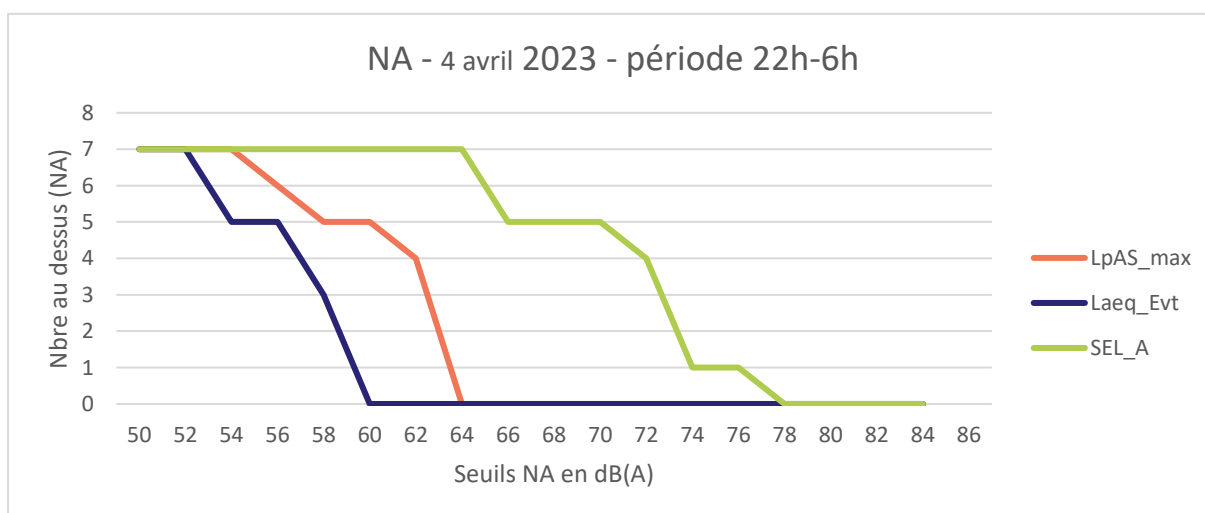
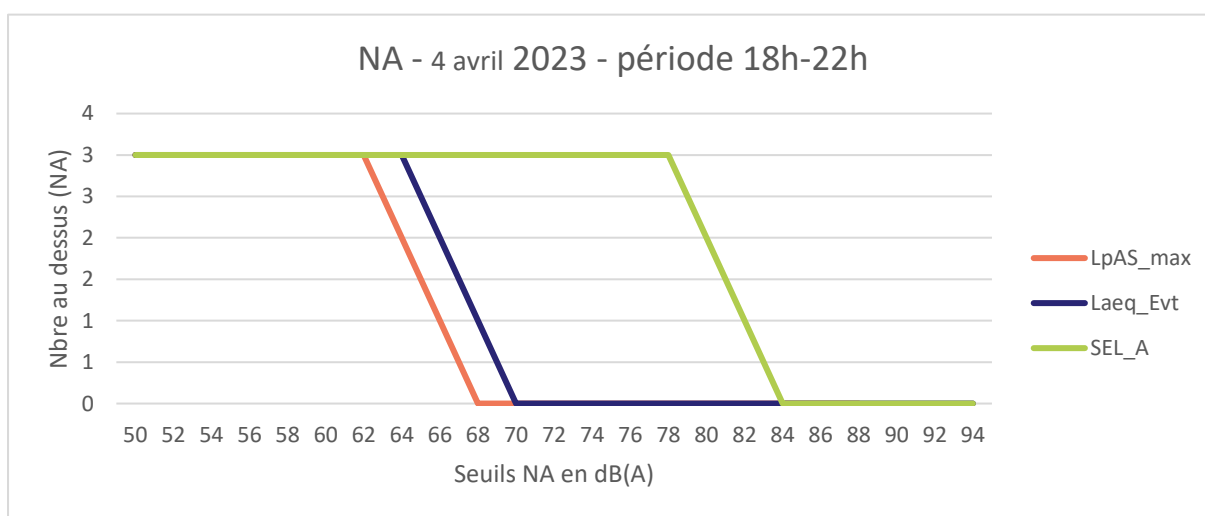
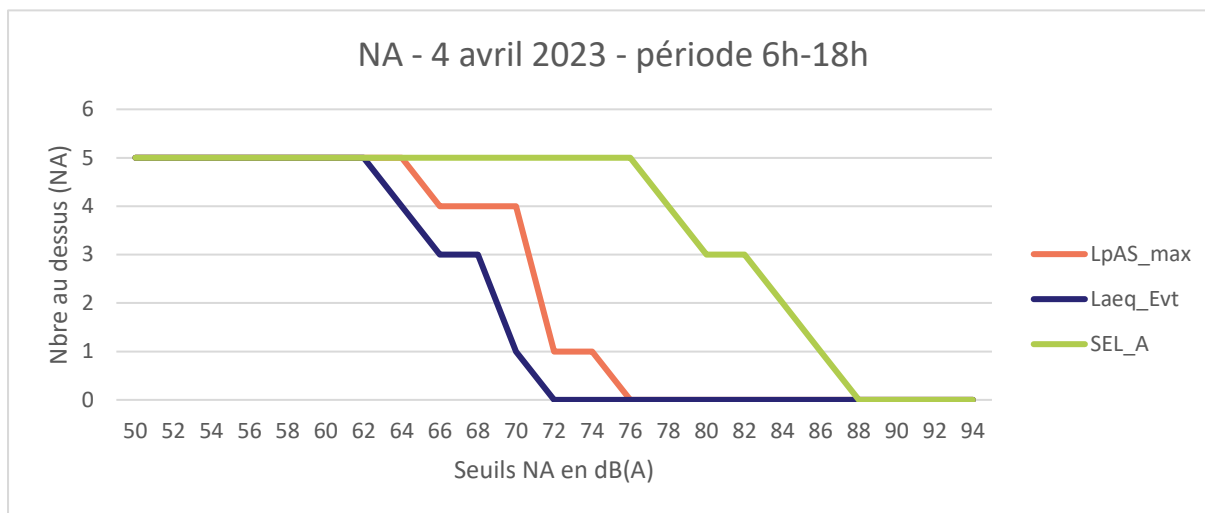
Résultats par indicateurs - boxplot



NAX pour les 3 périodes : Jour – soirée et nuit





NAX sur les 3 périodes (6-18h00 ; 18-22h00 et 22-06h) pour la journée du 4 avril 2023


Lden et Laeq périodes jour, soirée et nuit en façade du riverain

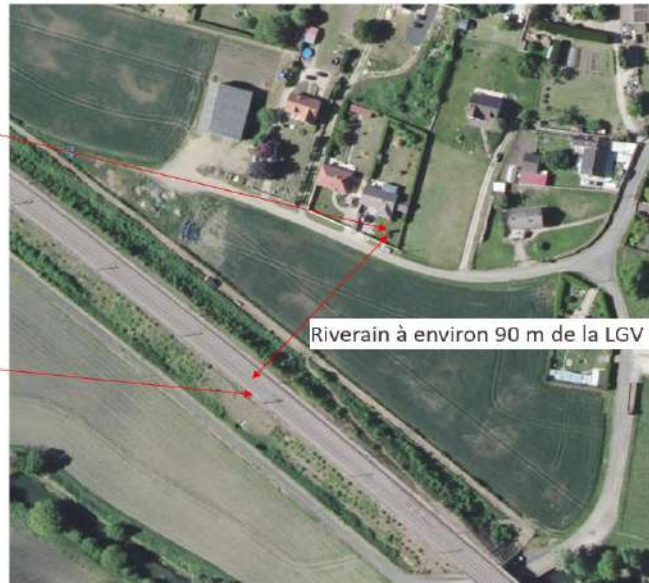
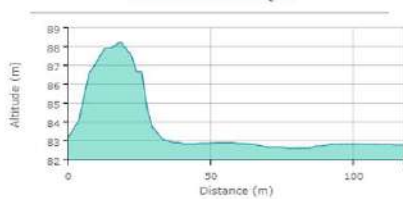
Date	Lden en dB(A)	Nbre passages de train	Laeq (6h-22h) en dB(A)	Laeq (22h-6h) en dB(A)
Mardi 4 avril 2023	58.7	22	51.6	52.5
Mercredi 5 avril 2023	49.5	18	50.1	35.1
Jeudi 6 avril 2023	49.6	2	47.4	41.1
Vendredi 7 avril 2023	58.8	11	48.4	53.1
Samedi 8 avril 2023	53.7	19	48.9	47.1
Dimanche 9 avril 2023	49.0	8	46.1	40.3
Lundi 10 avril 2023	54.4	11	46.3	48.5
Mardi 11 avril 2023	58.0	15	50.3	51.9

FICHE DE SYNTHÈSE SITE « MALAY LE PETIT » - LGV – mesure expérimentation arrêté 29/09/2022– SNCF
Descriptif du site

Malay le Petit (89)

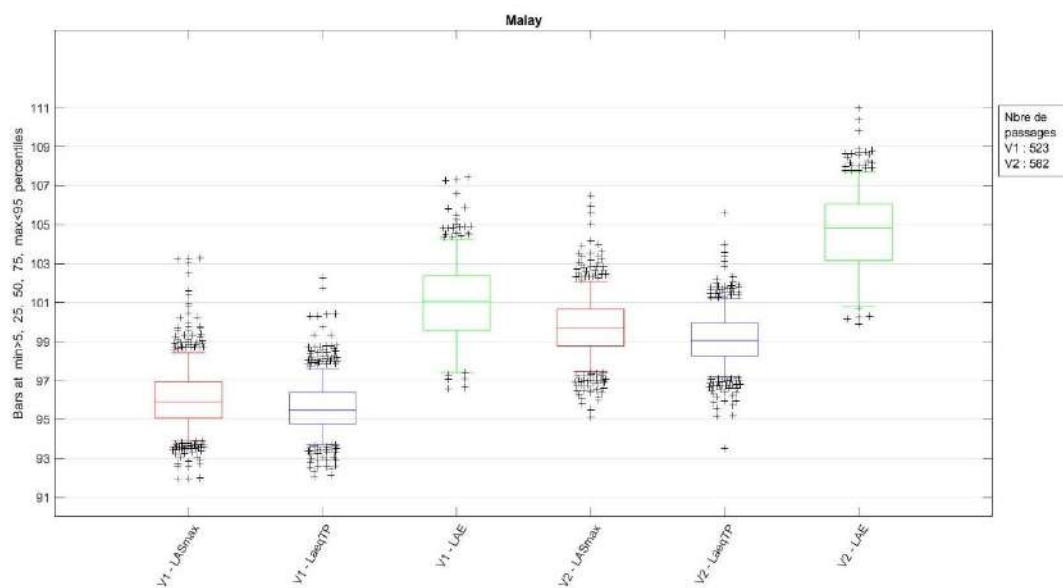
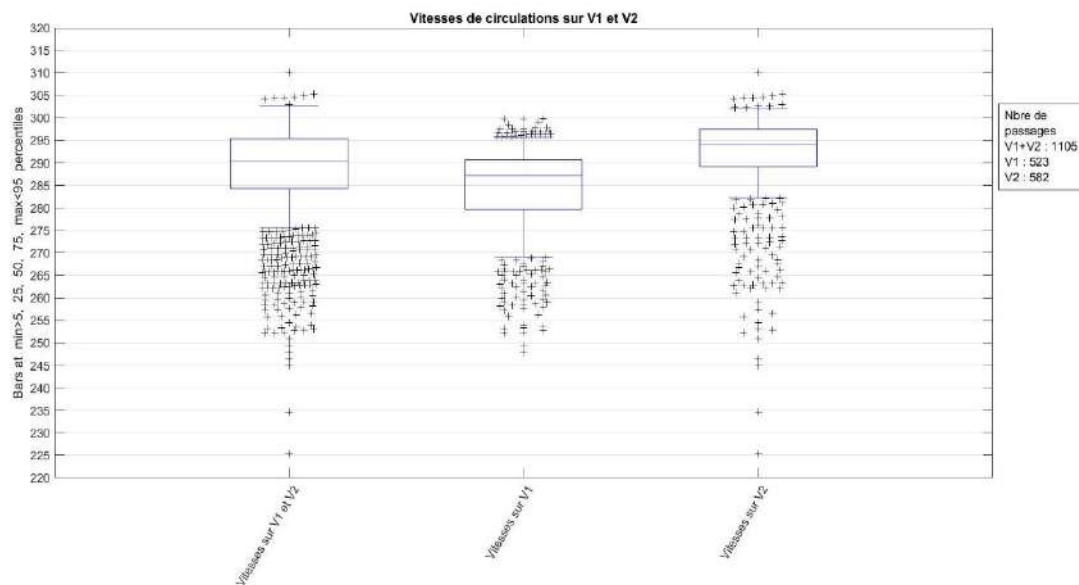
Instrumentation chez le riverain

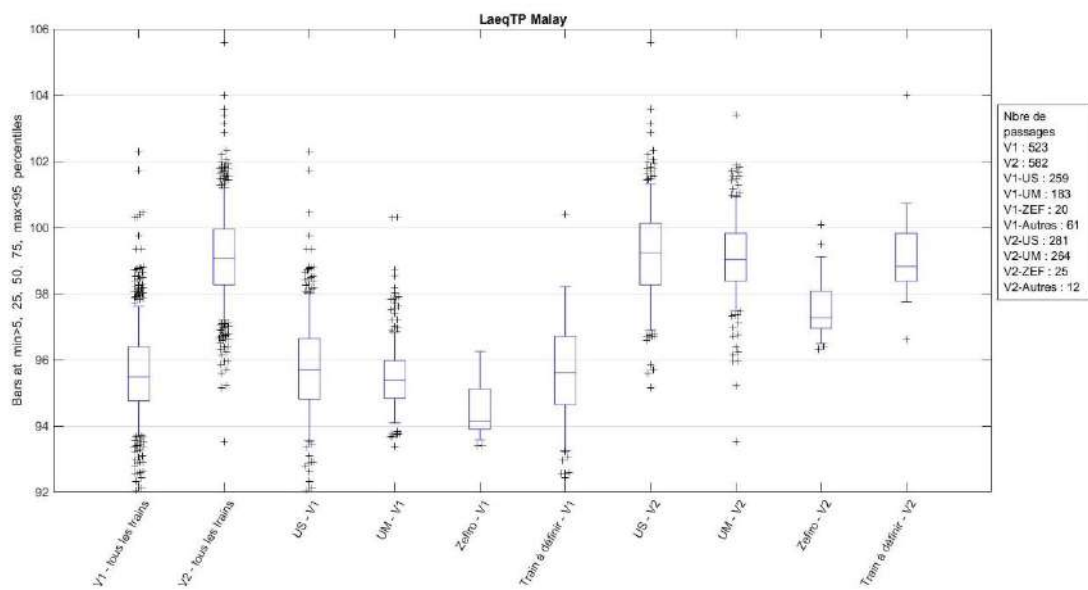
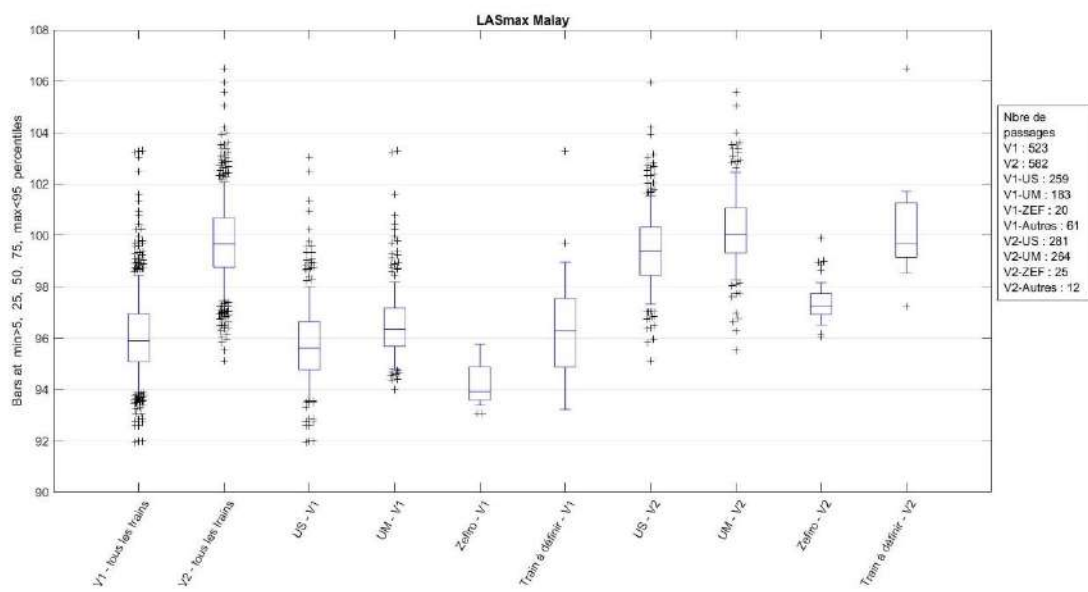
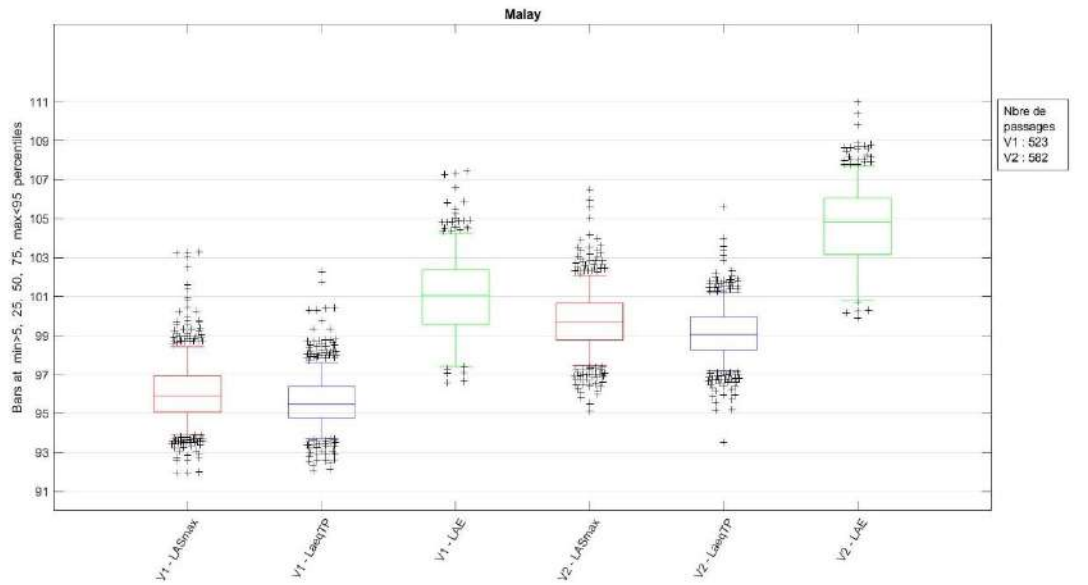
Instrumentation en bord de voies (V2)

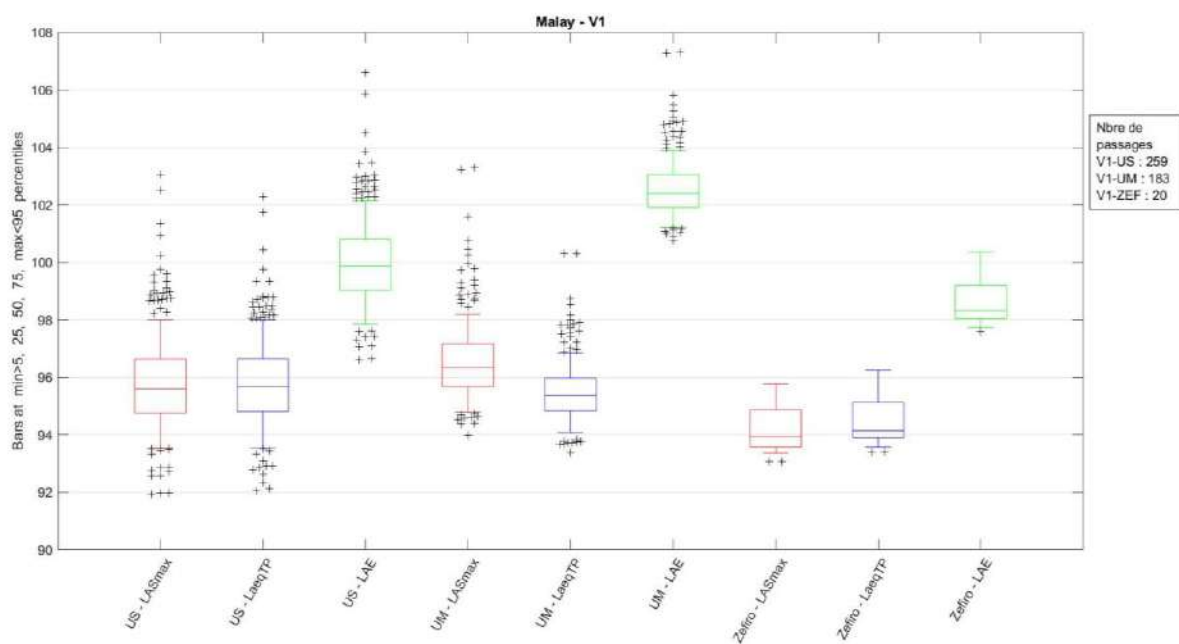
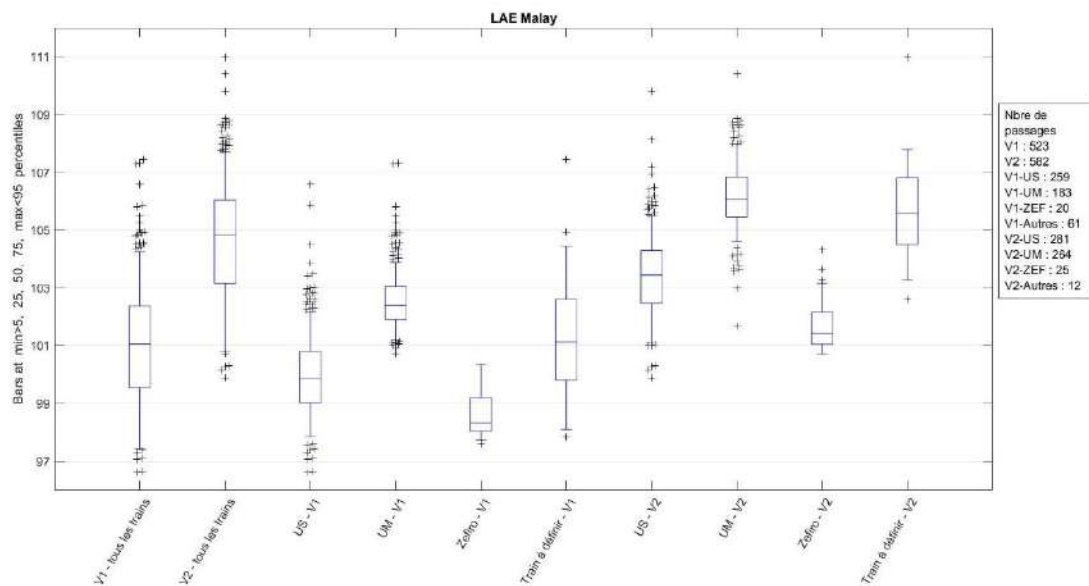

PROFIL ALTIMÉTRIQUE


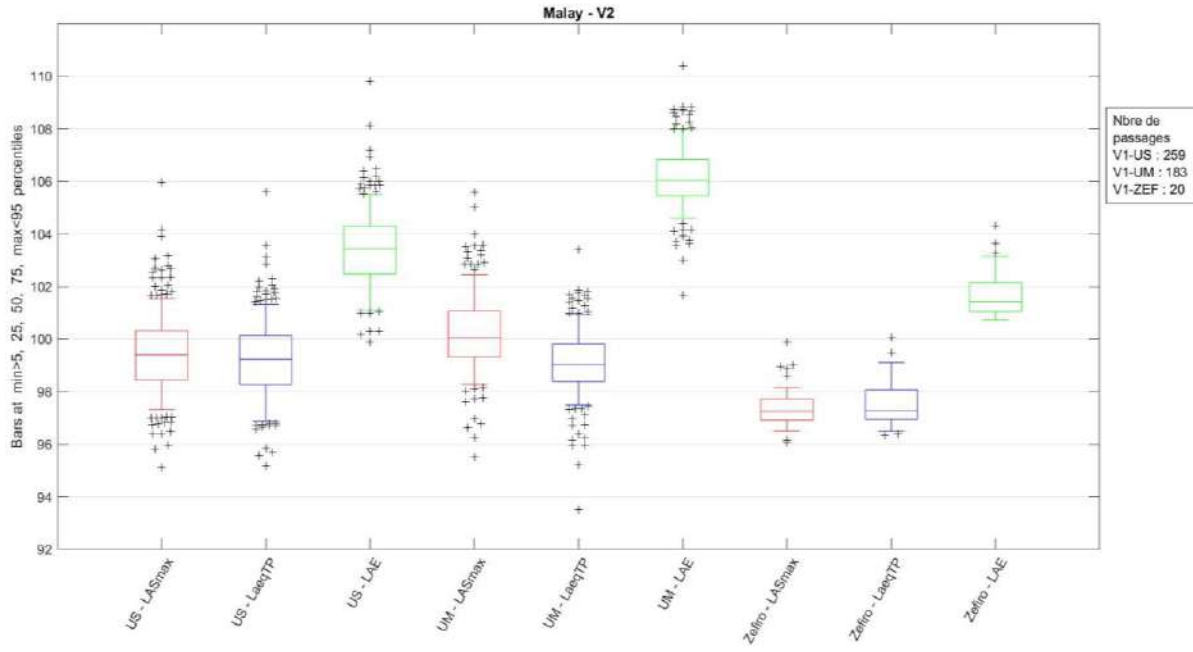
Nom du Site	Malay le petit
Département	89
Coordonnées_Lat_Long (en decimales)	48.170681 , 3.375335
Adresse	Bord de voie (coté Voie 2)
Code postal	89100
Ville	Malay-le-Petit
Gestionnaire des voies	SNCF Réseau
Numéro de Ligne	LGV SEE - 5000
Type de site	Campagne
Classement sonore de la voie	
Distance entre la voie et le système de mesure (en m)	90m pour le riverain et entre 3m et 7.5 m (en fonction de la voie)
Hauteur du système de mesure par rapport au sol (en m)	1.6
Type de mesure (champ libre ou façade)	Champ libre
Nbre de voies	2
Type de traverses	Béton sur ballast
Vitesses de circulation (max en km/h)	300
Vitesses moyennes des passages	290
Présence de protection acoustique écran etc)	non
Hauteur terrain récepteur par rapport hauteur terrain voies (en mètres)	6 (en dessous des voies)
Autres sources potentielles de bruit 1	route D660 à 120 m

Résultats par indicateurs - boxplot

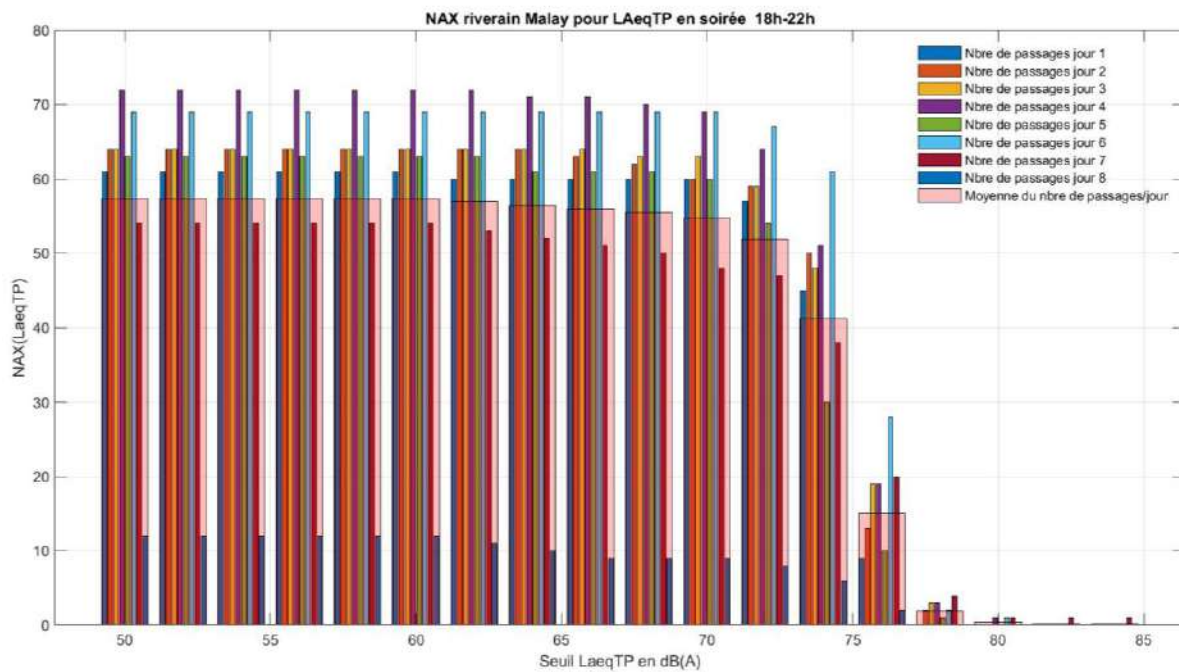
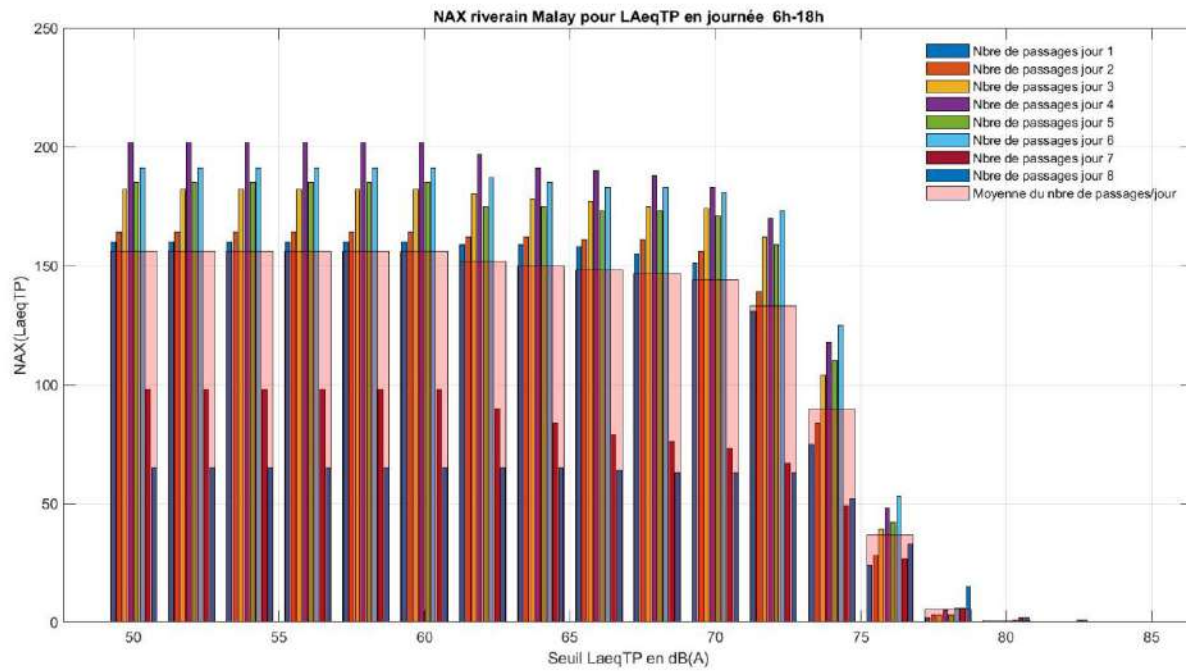


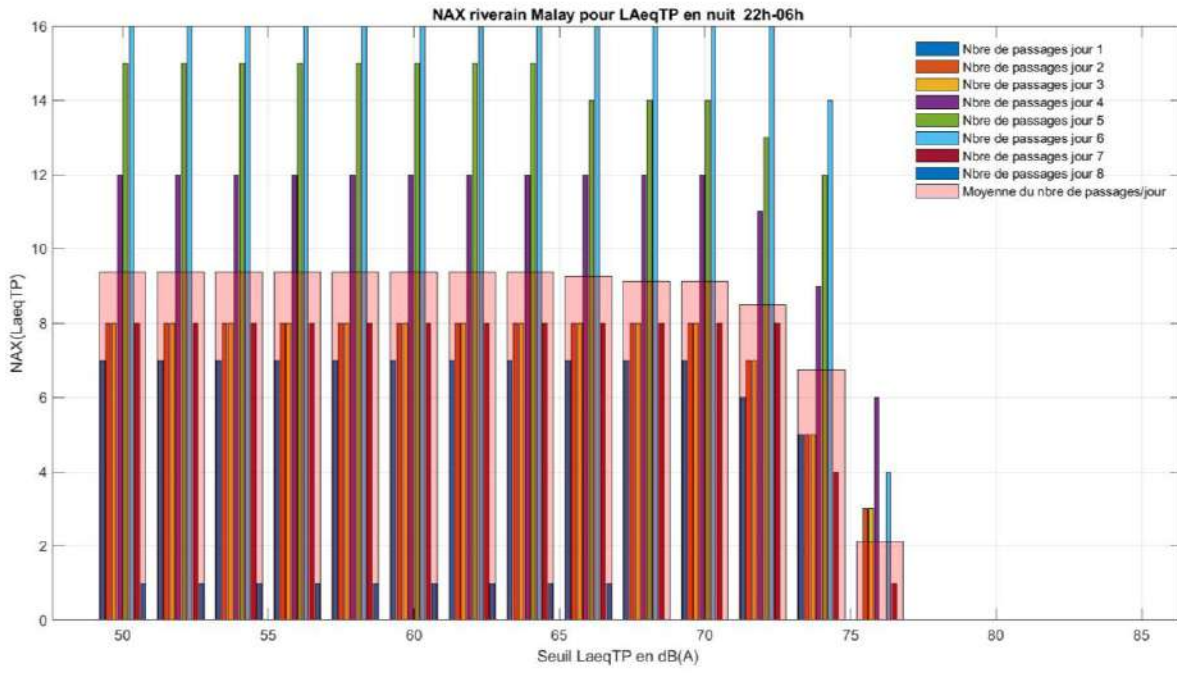


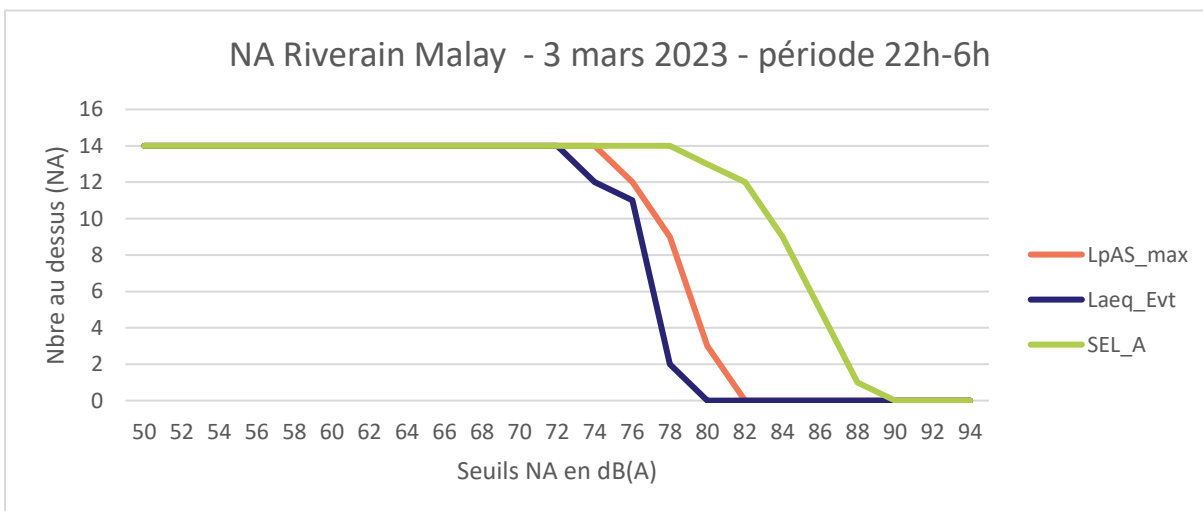
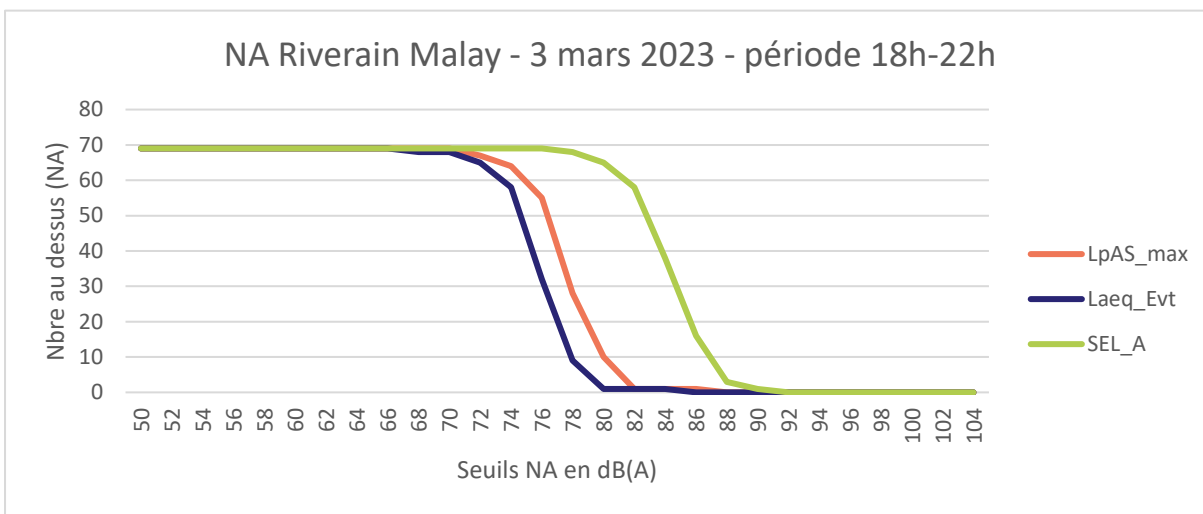
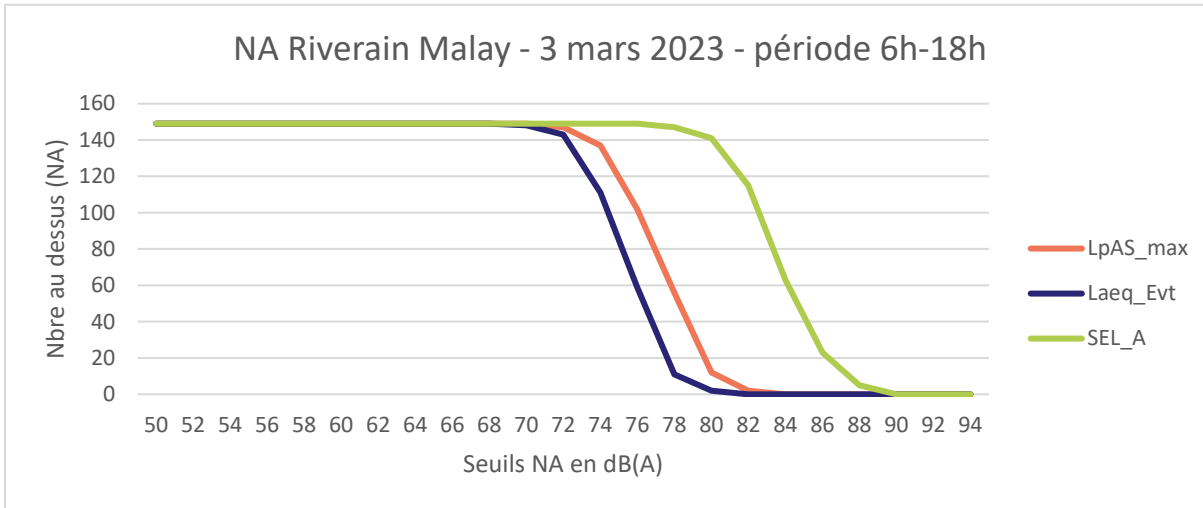


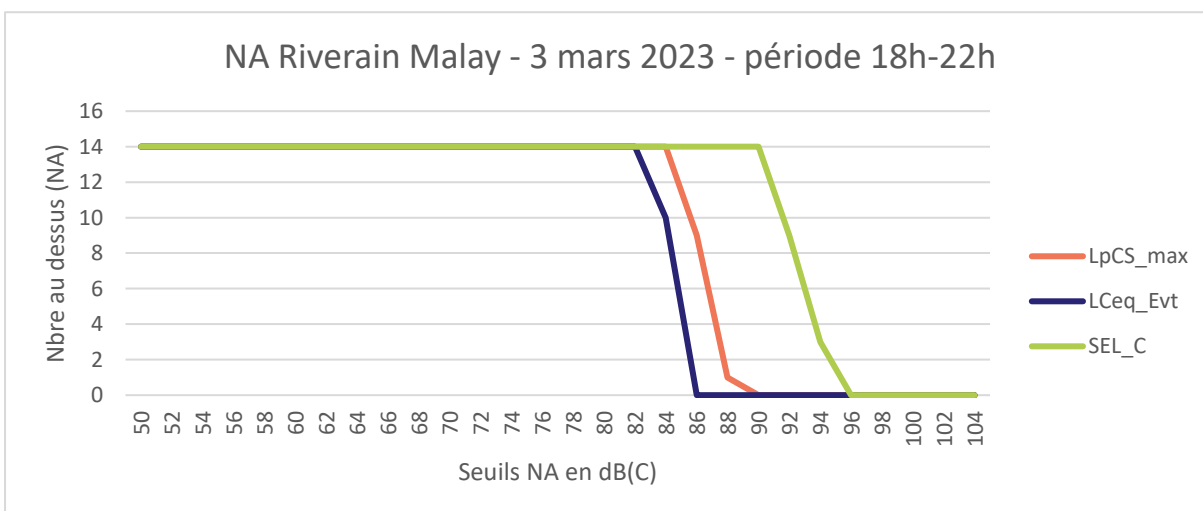
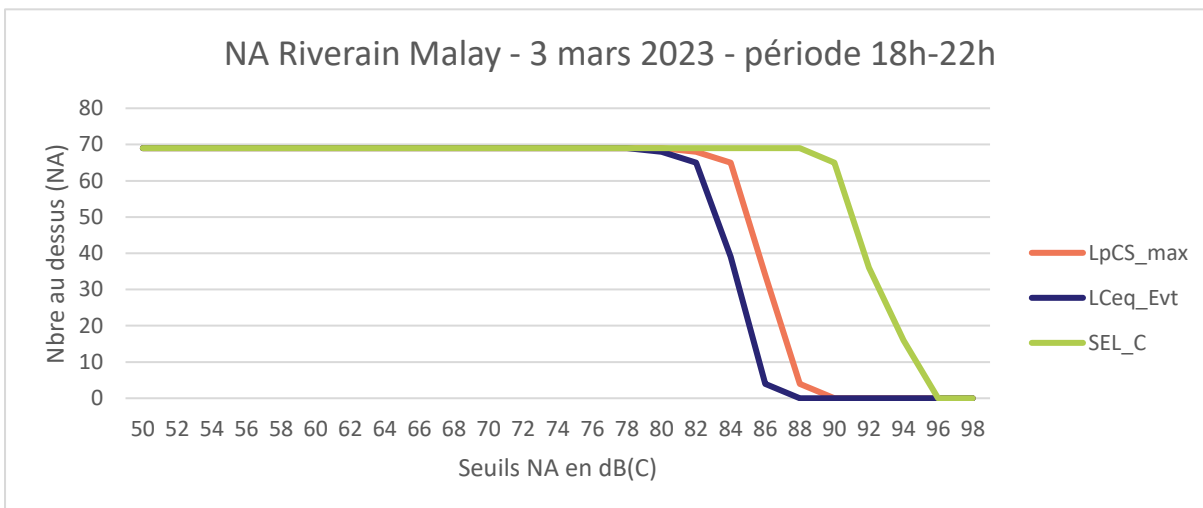
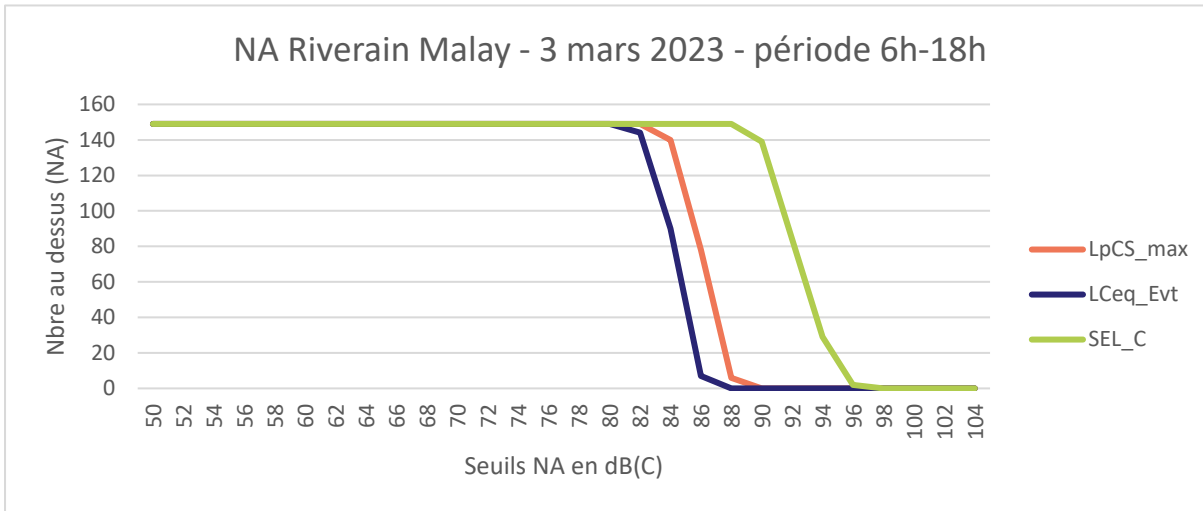


NAX pour les 3 périodes (6h-18h), (18h-22h) et (22h-6h)



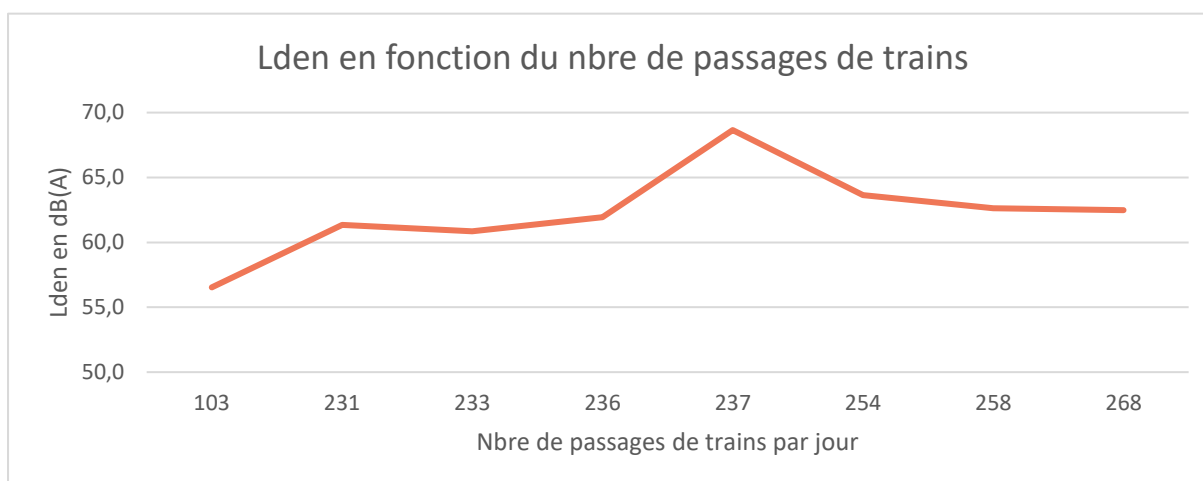


NAX sur les 3 périodes (6h-18h ; 18h-22h et 22h-06h) en dB(A) pour la journée du 3 mars 2023


NAX sur les 3 périodes (6h-18h ; 18h-22h et 22h-06h) en dB(C) pour la journée du 3 mars 2023


Lden et niveaux LAeq (6h-22h), (22h-6h) et (8h-20h, objectif LGV DUP 1976 = 70 dB(A)) en façade du riverain

Date	Lden en dB(A)	Nbre passages de train	Laeq (6h-22h) en dB(A)	Laeq (22h-6h) en dB(A)	Laeq (8h-20h) en dB(A)
Mardi 28 février 2023	60.8	233	59.7	47	59.8
Mercredi 1 mars 2023	61.3	231	60	48.3	59.8
Jeudi 2 mars 2023	61.9	236	60.4	49.5	60.5
Vendredi 3 mars 2023	62.6	258	60.9	51.2	60.7
Samedi 4 mars 2023	62.5	268	60.8	52.1	61
Dimanche 5 mars 2023	63.6	254	61.3	53.3	61.3
Lundi 6 mars 2023	68.7	237	66	48.1	61.2
Mardi 7 mars 2023	56.5	103	57	41.4	57.4



FICHE DE SYNTHÈSE SITE « MONTMEYRAN » - LGV – mesure expérimentation arrêté 29/09/2022– SNCF
Descriptif du site

Montmeyran (26)

Instrumentation chez le riverain

Instrumentation en bord de voies (V2)



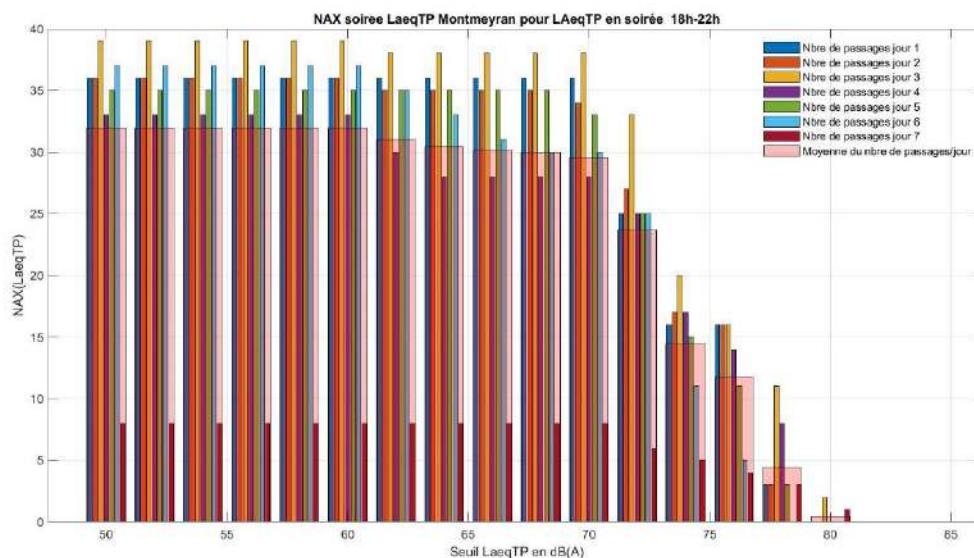
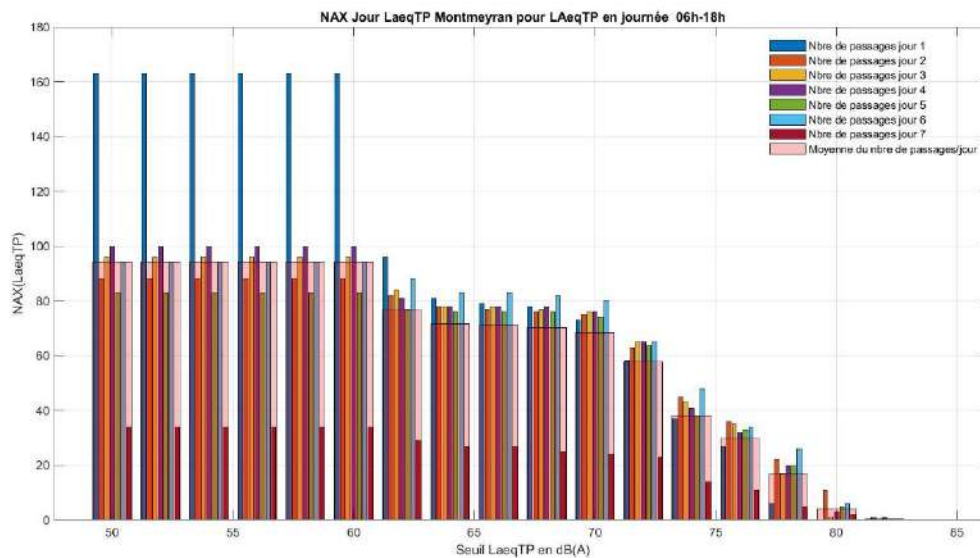
Nom du Site	Montmeyran
Département	26
Coordonnées_Lat_Long (en décimales)	44.84776 , 5.005198
Adresse	Bord de voie (coté Voie 1)
Code postal	26120
Ville	Montmeyran
Gestionnaire des voies	SNCF Réseau
Numéro de Ligne	LGV SEE - 752000
Type de site	Campagne
Classement sonore de la voie	
Distance entre la voie et le système de mesure (en m)	90m pour le riverain et entre 3m et 7.5 m (en fonction de la voie)
Hauteur du système de mesure par rapport au sol (en m)	1.6
Type de mesure (champ libre ou façade)	Champ libre
Nbre de voies	2
Type de traverses	Béton sur ballast
Vitesses de circulation (max en km/h)	300
Vitesses moyennes des passages	290
Présence de protection acoustique écran etc)	non
Hauteur terrain récepteur par rapport hauteur terrain voies (en mètres)	0.5 (en dessous des voies)
Autres sources potentielles de bruit 1	Route de la raye (D538) à 230 m

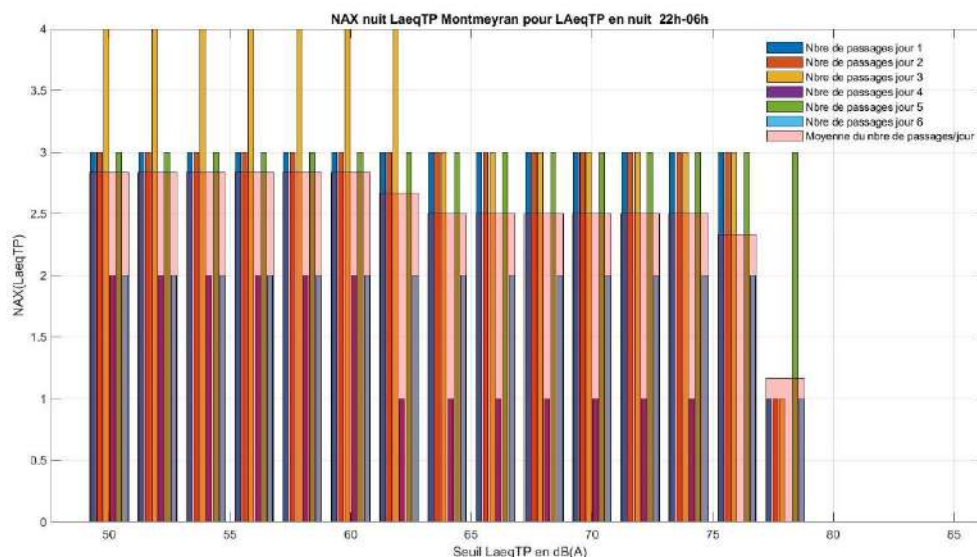
Résultats par indicateurs – boxplot

Des dysfonctionnements des systèmes de détection des passages des trains n'a pas permis d'obtenir toutes les circulations de cette semaine de mesures, le nombre de passages utilisables ne permet pas de faire des figures de types boxplot.

Les données des sonomètres chez le riverain sont néanmoins utilisables et montrées ci-dessous.

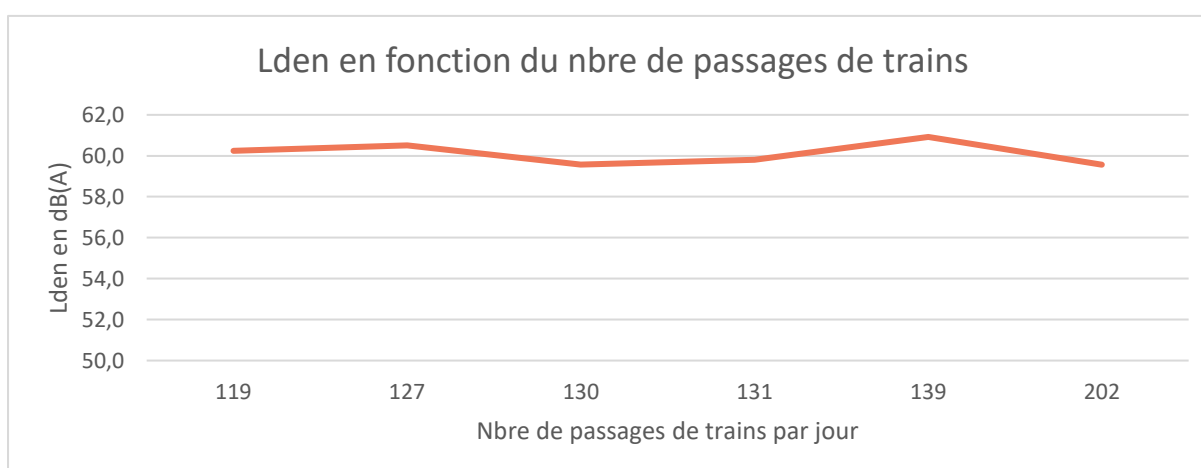
NAX pour les 3 périodes (6h-18h), (18h-22h) et (22h-6h)





LDEN et niveaux LAeq (6h-22h), (22h-6h) et (8h-20h, objectif LGV DUP 1994 62→ 60 dB(A)) en façade du riverain

Date	Lden en dB(A)	Nbre passages de train	Laeq (6h-22h) en dB(A)	Laeq (22h-6h) en dB(A)	Laeq (8h-20h) en dB(A)
Mercredi 1 mars 2023	59.6	202	58.4	47	58.9
Jeudi 2 mars 2023	60.5	127	59.5	48.2	59.7
Vendredi 3 mars 2023	60.9	139	59.2	48.1	60.1
Samedi 4 mars 2023	59.8	131	59.1	44.7	59.5
Dimanche 5 mars 2023	60.2	119	58.9	48.6	59.4
Lundi 6 mars 2023	59.6	130	58	47.1	59.4



ANNEXE 2 : NOTES DE POSITIONNEMENT DES PARTICIPANTS A L'ISSUE DE L'EXPERIMENTATION PHASE 1

REX SNCF Expérimentation pics de bruit phase 1

La Loi d'Orientation des Mobilités (dite LOM) intègre l'article 90, versé depuis dans le code de l'environnement (Article L571-10-2) rédigé comme suit :

« Les indicateurs de gêne due au bruit des infrastructures de transport ferroviaire prennent en compte des critères d'intensité des nuisances ainsi que des critères de répétitivité, en particulier à travers la définition d'indicateurs de bruit événementiel tenant compte notamment des pics de bruit.

Un arrêté conjoint des ministres chargés des transports, de l'environnement et du logement précise les modalités d'évaluation des nuisances sonores des transports ferroviaires en fonction des critères mentionnés au même premier alinéa. »

L'indicateur retenu par la réglementation actuelle, le LAeq, prend bien en compte, par construction, les critères d'intensité des nuisances ainsi que les critères de répétitivité puisqu'il somme l'énergie acoustique de chaque passage. Il est donc à la fois sensible au nombre de pics sur la période et au niveau de chaque pic.

Performance de l'indicateur actuel et pourquoi en changer est une fausse bonne idée ?

Pour mémoire, le LAeq est l'indicateur qui mesure l'énergie sonore « moyenne » sur une période ; comme tout indicateur, les indicateurs énergétiques sont imparfaits mais :

- Ils répondent aux demandes de la LOM de prise en compte de l'intensité des nuisances
- ...ainsi que des critères de répétitivité.
- On sait à la fois les mesurer, de façon répétable, et les calculer.
- Ils sont maîtrisés et stables dans une fourchette de +/- 2 dB(A).
- Les études ont montré que ces indicateurs énergétiques sont les meilleurs pour exprimer la gêne de long terme.
- **Aucun texte ne demande l'introduction de nouveaux indicateurs.**
- La réglementation au sein de l'UE retient les indicateurs énergétiques (et c'est le cas pratiquement partout dans le monde. Les rares pays ayant introduit un indicateur événementiel (LAm) l'ont fait de manière non contraignante et sans suivi :
 - o des protections sont dimensionnées par le calcul (avec des logiciels non utilisés en France),
 - o aucune mesure de bruit après mise en service des projets n'est réalisée.

L'introduction de nouveaux indicateurs n'est pas actée à ce jour. Cependant cette idée est présente chez certains, qui pourraient croire que l'on serait plus protecteur pour les riverains grâce à des indicateurs événementiels (c'est-à-dire mesurés au passage des trains). C'est faux :

- Tout dépend du seuil associé à l'indicateur.
- Aucune étude épidémiologique à ce stade ne permet de définir scientifiquement un seuil adapté à un indicateur événementiel. Le Conseil National du Bruit demande depuis 5 ans que des études beaucoup plus détaillées soient conduites si le législateur souhaitait s'engager dans ce sens, mais elles n'ont pas eu lieu à ce jour.
- La réglementation est déjà complexe et un nouvel indicateur ne ferait que la complexifier davantage (et serait contestée par les riverains : on ne saurait de toute façon pas traiter de sa volatilité par une approche statistique.

- Des indicateurs volatils, dont le résultat est difficile à prévoir au stade des travaux, sont - dans un contexte d'obligation de résultat - des sources sans fin de contentieux, qui sont sources d'inégalité entre les administrés et entre les territoires,

En résumé, si la réglementation devait évoluer, il est impératif que ce soit d'une façon applicable. Il ne faut donc pas changer les indicateurs, ni rajouter un indicateur événementiel contraignant qui rendrait la réglementation inapplicable.

- La première phase prévue par cet arrêté expérimental, sur la réalisation de mesures de bruit, montre qu'il n'est déjà pas simple de caractériser des pics de bruit dans toutes les conditions possibles. Si c'est faisable, de façon imparfaite, le long d'une ligne en rase campagne, c'est nettement plus compliqué lorsqu'on veut mesurer le bruit d'un tramway en centre-ville avec une circulation routière dense à proximité.
- La deuxième phase de cette expérimentation commence à peine, faute de logiciels disponibles pour faire les calculs sur la base des indicateurs événementiels, mais les premiers résultats mettent en avant les difficultés liées à ce type d'indicateurs.

Calcul du LAeq (dose de bruit retenue par la réglementation actuelle) à partir des bruits au passage

Remarque : cette illustration a vocation à expliciter le phénomène afin d'exposer le lien entre d'une part le « bruit au passage », c'est-à-dire ce dont se plaignent les riverains et « la dose de bruit » sur laquelle est basée la réglementation actuelle (LAeq, gêne de long terme).

LA RÉGLEMENTATION DES PROJETS FERROVIAIRES

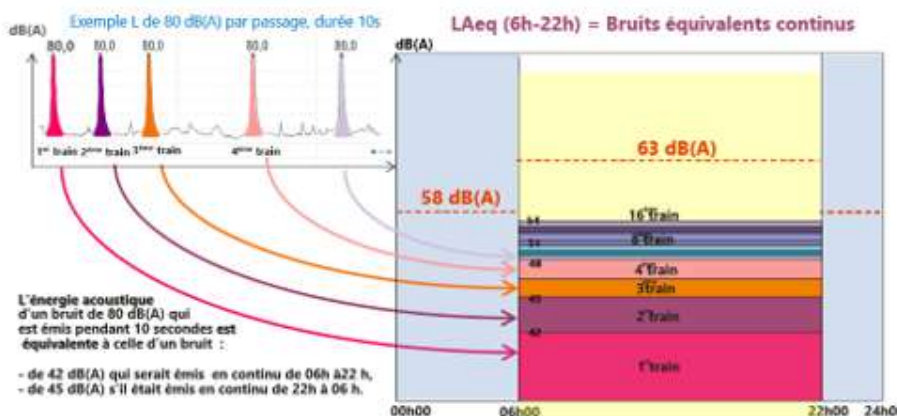
La réglementation est basée sur le LAeq : niveau de bruit « équivalent* »

- * Caractérise la quantité d'énergie sonore reçue pendant une période de temps donnée.
- * Représente la dose de bruit reçue par le riverain de l'infrastructure.
- * Valeur que l'on mesure avec un sonomètre, exprimée en dB(A).



Sommation du bruit :
Doublement d'une source = +3 dB(A)

Du bruit au passage ... au LAeq (bruit « moyen ») : un cumul de l'énergie de chaque passage rapporté à la durée de la période



- Deux périodes :
 - LAeq (6h-22h) (jour)
 - LAeq (22h-6h) (nuit)

➢ **Obligation de résultats pour le maître d'ouvrage sur la durée de vie de l'infrastructure nouvelle ou modifiée**

*caractéristique de la gêne de long terme

On additionne l'énergie de chaque passage sur la période concernée pour obtenir l'énergie équivalente. La valeur du LAeq augmente d'autant plus vite que les valeurs maximales des passages sont élevées.

Principales conclusions d'une revue bibliographiques des études scientifiques sur la gêne sonore

Une revue bibliographique d'études scientifiques sur la gêne sonore ferroviaire (~25 études internationales : Europe, Japon, Chine, etc.) avait été présentées au CNB le 03/03/2020. Ces études concernaient :

- De nombreux laboratoires experts dans ce domaine ;
- Facteurs impliqués dans le ressenti des riverains ;
- Support de base pour l'élaboration des indicateurs mieux corrélés ;
- Proposition de projets / actions pour combler les manques de connaissances.

Les principales conclusions étaient les suivantes :

Le niveau sonore est le premier facteur impliqué dans les nuisances sonores ferroviaires

Niveau sonore représenté souvent par le LAeq
LAeq : bonne description de la gêne exprimée

Certaines études ont montré l'intérêt du LAmx dans la gêne à court terme

Absence d'amélioration significative par rapport au LAeq

Les perturbations du sommeil constituent une principale cause de plaintes

Le LAmx est plus corrélé aux perturbations du sommeil que le Lnigt

Le nombre de passages de trains joue un rôle important dans le ressenti

La gêne sonore est proportionnelle au nombre de passages (N)
Corrélation entre la gêne et le LAeq améliorée par l'addition de $10 \log(N)$

La soudaineté de l'arrivée du train est perçue négativement

Procure un sentiment d'insécurité chez les riverains
Phénomène proportionnel à la vitesse du train

Le bruit des TGV se caractérise par un contenu spectral riche en basses fréquences

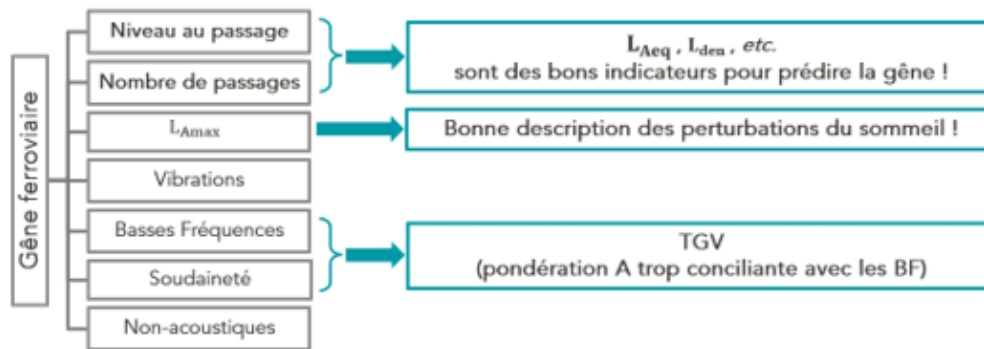
Caractère lié au bruit aérodynamique dont le niveau sonore augmente en $60 \log(V)$
Contributions basses fréquences minorées par la pondération A employée dans la réglementation actuelle

Les TGV sont plus gênants que les trains classiques à même niveau d'exposition sonore

Pour procurer la même gêne, il faut diminuer le LAeq des TGV d'environ 5 dB(A)

Des facteurs non-acoustiques sont impliqués dans le ressenti des riverains

- Sensibilité au bruit
- Âge
- État de santé
- Niveau de formation
- Caractéristiques résidentielles
- Attitudes vis-à-vis du ferroviaire



**Les études scientifiques n’ont pas montré un impact des aspects événementiels sur la gêne ressentie.
Les études scientifiques ont montré un impact du niveau maximal L_{Amax} sur la qualité du sommeil.**

Pour mémoire, la demande de définition d’indicateurs de bruit événementiel tenant compte notamment des pics de bruit est issue de la mise en service des deux dernières lignes à grande vitesse mises en service mi 2017. Les objectifs réglementaires sont 3 dB(A) plus bas pour une LGV par rapport à une ligne classique. Le long d’une LGV, les questions de réveils nocturnes ne sont pas, a priori, un sujet prééminent, la circulation des TGV de nuit se limitant en tout début et toute fin de période nocturne.

Cette problématique peut se poser davantage pour les circulations fret nocturnes en cas de faibles trafic.

Amélioration du matériel roulant

Il est important de mentionner que les caractéristiques du matériel roulant ont connu une nette amélioration en termes de bruit émis. Les organes de freinage récents permettent un meilleur état de surface des roues (et donc une moindre usure des rails) à l’origine d’une limitation des niveaux sonores, perceptible sur l’ensemble du parcours et non uniquement dans les zones de freinage.

La généralisation du freinage par disque sur les remorques TGV et la mise en place de semelles de freins en matériau composite sur les motrices TGV ont permis une réduction du niveau sonore à l’émission. Entre les TGV orange de première génération (1981) et les rames actuelles, un gain de plus de 10 dB(A) a été constaté.

La mise en place de semelles de frein en matériau composite, remplaçant les semelles de frein en fonte sur la quasi-totalité des matériels roulants voyageurs, a permis d’obtenir une baisse de 8 à 10 dB(A) des émissions sonores liées à la circulation de ces matériels. Ainsi, la totalité du matériel voyageurs, hors Corail et VB2N (voitures banlieue à 2 niveaux), est désormais équipée de semelles de frein en matériaux composites.

Pour le matériel fret, le déploiement de cette amélioration, qui dépend des détenteurs de wagons, a été plus lent. Des gains similaires ont été obtenus grâce à l’application de la STI bruit, publiée le 16 mai 2019 au journal officiel de l’union européenne. En effet, la révision de cette STI a introduit la notion d’« itinéraire moins bruyant » (également appelée « route silencieuse »). Ces itinéraires correspondent à des sections de ligne d’au moins 20 km de longueur sur laquelle le nombre moyen de trains de marchandise circulant chaque nuit (22h-6h) est supérieur à 12. Le trafic fret des années 2015, 2016 et 2017 sert de base pour le calcul de ce nombre moyen.

Sur les « itinéraires moins bruyants », aucun wagon équipé de semelles de frein en fonte n’est désormais autorisé à circuler. Ainsi, tout wagon qui emprunte au moins quelques mètres d’un « itinéraire moins bruyant » est nécessairement silencieux (équipé de semelles de freins composite) sur l’ensemble de son parcours. Il n’est pas nécessaire que le wagon circule sur 20 km d’itinéraire silencieux pour être soumis à l’obligation.

L’application de la STI bruit est effective depuis le 8 décembre 2024 (changement de service annuel). La quasi-totalité des wagons de marchandise est donc désormais freinés composite.

Campagne de mesures réalisée par SNCF dans le cadre de la phase 1 de l'arrêté expérimental

L'Arrêté du 29 septembre 2022 fixant à titre expérimental les modalités de détermination et d'évaluation applicables à l'établissement d'indicateurs de gêne due au bruit événementiel des infrastructures de transport ferroviaire détermine de nouveaux indicateurs à caractériser et liste un certain nombre de points de mesures à réaliser. SNCF Réseau a mandaté l'Agence d'Essais Ferroviaires (SNCF) pour réaliser les points de mesure prévus le long du réseau ferré national (hors points réalisés par Bruitparif sur stations permanentes et point réalisé par Acoucity). L'arrêté mentionnait les 3 communes suivantes : Malay-le-Petit (89) – LGV, Montmeyran (26) – LGV et Le Teil (07) – FRET.



Emplacement des points de mesures réalisés par SNCF

Sur chaque site, l'implantation du point de mesure a été choisi en respectant les conditions environnementales suivantes :

- Pas de courbe (ou courbe très faible)
- Pas de pente (ou pente très faible)
- Pas de Talus, de bâtiments ou autres pouvant influencer sur les mesures
- Un riveain à environ 100 m des voies acceptant la pose d'un sonomètre

Les secteurs de mesure ont donc été choisis pour se mettre dans une configuration « optimale » pour caractériser les indicateurs événementiels retenus par l'arrêté.

Pourtant, on constate que malgré tous les systèmes complémentaires mis en place et détaillé dans le rapport, les développements spécifiques pour traiter à la fois les données acoustiques, des jauges de contraintes positionnées sur les voies et des enregistrements vidéo pour l'identification des rames, il a été impossible d'analyser correctement l'ensemble des données collectées.

Dans le cadre d'une étude d'impact, **l'implantation des points se fera probablement dans des conditions beaucoup moins favorables** dans certains cas, ce qui complexifiera l'analyse des résultats et pourra remettre en cause la **possibilité d'identifier correctement les différents indicateurs dans de nombreuses situations.**

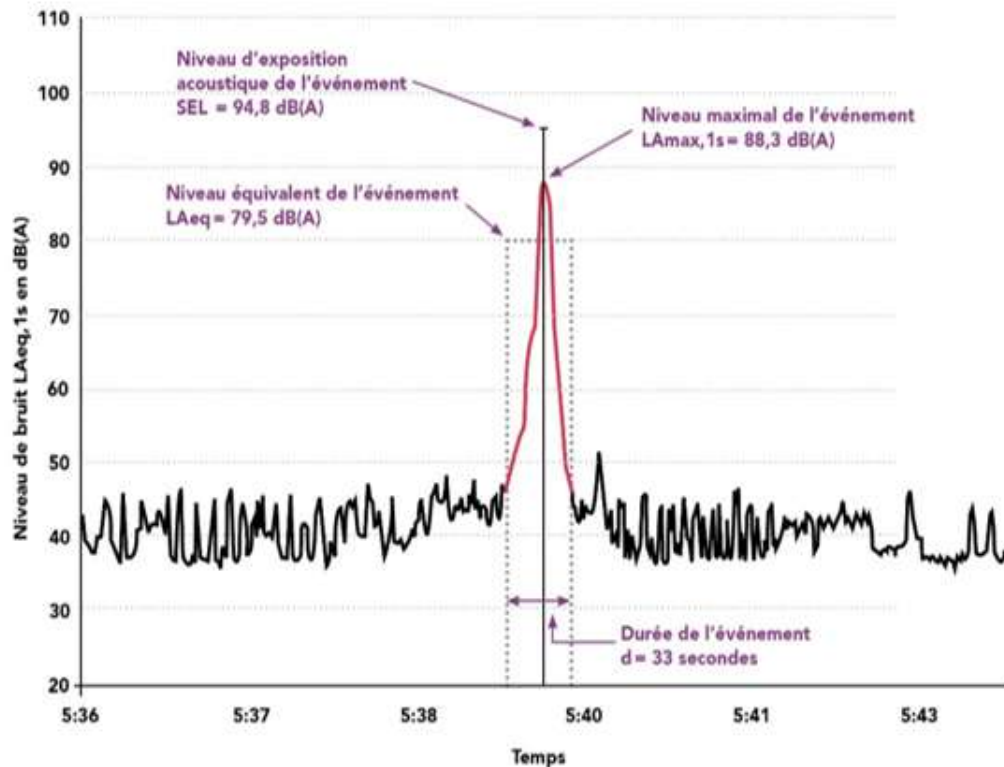
Les résultats des mesures faites par la SNCF montrent que, dans une situation de bords de LGV, dans un environnement avec un bruit de fond faible, il est possible caractériser les indicateurs événementiels avec un sonomètre puisque les seules « émergences » que l'on mesurera seront des passages de train. Cela n'est évidemment pas le cas dans un environnement soit avec un bruit de fond plus important, soit avec des émergences par d'autres sources de bruits que les trains (voitures, avions, industries, ...).

Difficultés et risques de confusions liés à la multiplicité des indicateurs

L'unité de mesure du bruit est le décibel. Elle est difficile à appréhender par le grand public, basée sur une échelle logarithmique.

L'ensemble des valeurs sont indiquées avec la même unité. L'illustration suivante présente un seul passage de train qualifié de trois façons différentes avec des niveaux en décibels particulièrement différents.

INDICES ACOUSTIQUES



Pour le riverain non spécialiste en acoustique, il peut être compliqué de bien associer une valeur exprimée en décibel avec la grandeur que l'on cherche à caractériser. Dans l'exemple ci-dessus, les valeurs de 79.5 dB(A), 88.3 dB(A) et 94.8 dB(A) caractérisent toutes le même événement sonore.

On pourra rétorquer que, bien expliqué, ces valeurs sont compréhensibles. On constate malheureusement dans le cadre de la réglementation actuelle basée sur un unique indicateur LAeq, qu'une confusion existe déjà entre le LAeq partiel et le LAeq particulier, et ce même auprès d'experts acoustiques auprès des tribunaux comme illustré ci-après dans le paragraphe mesure du bruit des circulations ferroviaires (telle que pratiquée aujourd'hui).

La multiplication des indicateurs créerait donc de la confusion.

Dimensionnement de protections dans le cas d'une éventuelle évolution de la réglementation basée sur un indicateur évènementiel

Un dimensionnement d'éventuelles protections sur les bases d'un L_{Amax} conduirait à dimensionner les protections sur la base du train le plus bruyant, même s'il n'est pas représentatif de la grande majorité des circulations. Or ce(s) passage(s) plus bruyant sont déjà intégrés dans le L_{Aeq} dont la valeur est rapidement « tirée » vers le haut par les trains générateurs des niveaux sonores les plus élevés. Par exemple, le passage d'un seul train corail a le même « poids » que 17 rames Régiolis.

Pour mémoire, le dimensionnement de protections ne se fait pas à partir de mesures de bruit, mais à partir de niveaux sonores calculés en situation future. Les protections ne peuvent donc pas être dimensionnées en fonction des valeurs les plus fortes observées. Les mesures sont faites a posteriori pour vérifier l'efficacité de ces protections.

De plus, certains projets ne concernent qu'un seul type de matériel « noyé » dans un trafic plus bruyant. Il n'est généralement pas envisageable de traiter par le projet, des niveaux sonores extérieurs à ses circulations (dans le cas des SERM notamment). Dimensionner les protections en fonction d'un matériel totalement étranger au projet peut avoir un impact tel que le projet ne soit plus finançable. Une rare exception est le projet de prolongement à l'Ouest de la ligne RER E de la gare Paris Saint Lazare à Mantes la Jolie dit projet EOLE. Les trains de la ligne J, objet du prolongement étaient très nettement moins bruyant que les trains Corail desservant la Normandie. Un budget de 30 M€ a été consacré à la résorption des PNB le long du réseau même si ce le projet n'était pas à l'origine de ces PNB, mais ce financement complémentaire n'a été possible que grâce à la forte volonté des financeurs.

Si le SEL permet de comparer des passages de trains de longueur et natures différentes, cette comparaison est déjà possible par simple analyse des signatures acoustiques du matériel roulant. Si la réglementation était amenée à évoluer, le rapport constate que cet indicateur n'aurait qu'une plus-value très limitée par rapport au L_{Aeq}. Il faut d'ailleurs noter que cet indicateur pourrait fortement varier selon l'estimation du T_{evt} en fonction du temps réel d'exposition pour des habitations assez éloignées des voies avec une topographie chahutée et/ou de nombreuses constructions sur le chemin de propagation du bruit de la voie aux logements à protéger. Les faibles écarts présentés par rapport à l'incertitude de l'estimation du T_{evt} (identifiés sur des ponts de mesures judicieusement choisis) ne peuvent être généralisés à toutes les configurations de terrain.

Quel que soit l'indicateur évènementiel, le dimensionnement des protections ne serait pas forcément plus important que par rapport à un dimensionnement de protections défini par rapport à un niveau L_{Aeq}. Tout dépend du seuil associé à chaque indicateur.

L'indicateur actuel L_{Aeq} présente de nombreux avantages : il est stable, fiable, il prend en compte la gêne ressentie et l'impact sur la santé, les niveaux sonores de chaque passage et le critère de répétitivité. Il permet une évaluation efficace des solutions de protection des riverains dont les performances peuvent être vérifiées par la mesure de façon claire, sans contestation possible des résultats de mesures ce qui ne serait pas le cas si on était amené à utiliser des indicateurs évènementiels en contrôle de l'obligation de résultats pesant sur les gestionnaires d'infrastructures.

Aucun des rares pays qui dans sa réglementation dispose d'un seuil en L_{Amax} n'a d'obligation de vérification de la performance des protections en matière de respect de l'objectif fixé. La réglementation dans ces pays impose une obligation de moyens, pas de résultats.

Dimensionner des protections sur la base d'un L_{Aeq} (éventuellement diminué par rapport aux seuils actuels) peut parfaitement conduire à un dimensionnement de protections plus importantes qu'avec un indicateur évènementiel, tout dépend des seuils retenus. Dans le premier cas on maîtrise l'outil, la variabilité de l'indicateur, la vérifiabilité de l'efficacité des protections contrairement au deuxième cas, on ne maîtrise pratiquement rien.

Mesure du bruit des circulations ferroviaires dans le cadre réglementaire actuel

Des mesures de bruit peuvent être réalisées pour déterminer les niveaux sonores le long des voies ferrées, préalablement à un projet pour déterminer la zone d'ambiance sonore préexistante (niveau de bruit global toutes sources de bruit confondues) ou après réalisation du projet afin de vérifier si les seuils réglementaires sont respectés par le gestionnaire de l'infrastructure (niveaux de bruit des circulations ferroviaires seules). Elles doivent suivre les préconisations exposées dans les normes suivantes :

- NF S 31-010 (décembre 1996) relative à la caractérisation et au mesurage des bruits de l'environnement
- NF S 31-110 (novembre 2005) relative à la caractérisation et au mesurage des bruits de l'environnement
- NF S 31-088 (juillet 2014) relative au mesurage du bruit dû au trafic ferroviaire en vue de sa caractérisation,
- NF S 31-085 (novembre 2002) relative au mesurage du bruit dû au trafic routier en vue de sa caractérisation, dans le cas où une infrastructure routière se situe à proximité du point de mesure.

Les points de mesures doivent être localisés à 2 m en avant de la façade de bâtiments, à un étage supérieur de préférence, en fonction des possibilités, de façon à être en vue directe des différentes sources de bruit.

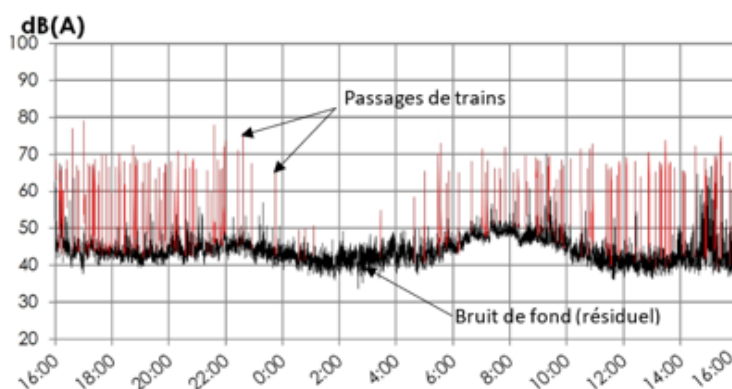
Les appareils de mesures utilisés (microphones, sonomètres, calibreurs, ...) doivent tous être certifiés conformes à la classe de précision 1 telle que définie dans la norme NF EN 61672-1 relative aux sonomètres intégrateurs).

Les conditions météorologiques sont à relever, soit sur place, soit auprès de la station Météo France la plus proche.

Les mesures sont basées sur la méthodologie « du LAeq court » conformément aux normes en vigueur.

Cette méthode consiste à mesurer et stocker sur support numérique des échantillons LAeq(1s) pendant l'intervalle de mesurage (le niveau de bruit mesuré seconde après seconde est stocké dans le sonomètre). Cette méthode permet ainsi de reconstituer l'évolution temporelle d'un environnement sonore, d'identifier des sources de bruit particulières à partir de leur signature acoustique et d'en déduire leur contribution sur les deux intervalles de références diurne et nocturne.

Le cas échéant, les circulations ferroviaires peuvent être identifiées sur l'enregistrement par reconnaissance, sur l'évolution temporelle du LAeq(1s) au point de mesure considéré, de la signature acoustique caractéristique du passage d'un train lorsque celui émerge suffisamment du niveau de bruit de fond (niveau sonore hors circulations ferroviaires) conformément aux prescriptions du chapitre 6 de la norme NF S 31-088 et sont codées en tant que source ferroviaire (émergence d'au moins 10 dB(A) du bruit résiduel). Ces circulations ferroviaires peuvent être également confirmées à l'aide des relevés de circulations BREHAT (horaires des circulations aux balises d'identification du trafic les plus proches des points de mesure qui peuvent être fournis par SNCF Réseau).



Exemple d'évolution temporelle sur 24h avec codage des circulations ferroviaires

Dans le cadre de la réglementation actuelle, pour caractériser le niveau sonore des infrastructures de transport terrestre, la « dose » de bruit reçue par le riverain de l'infrastructure est calculée en additionnant l'énergie de chaque passage de train pour obtenir le niveau d'énergie total. Ce niveau est ramené sur une période de temps (T) donnée.

On obtient ainsi le niveau sonore équivalent sur la période, noté LAeqT ou par simplification LAeq. C'est l'indicateur énergétique acoustique retenu par la réglementation française.

Il prend aussi bien en compte un bruit long d'un niveau moyen continu que des bruits intenses et courts. Les deux critères « nombre de trains par période (fréquence) » et « intensité de chaque passage » sont bien intégrés dans le calcul de cet indicateur. Le niveau de bruit équivalent LAeq caractérise la quantité d'énergie sonore reçue pendant une période de temps donnée.

En France, ce sont les périodes de jour (6h – 22h) et de nuit (22 h – 6 h) qui ont été adoptées comme références.

Les indicateurs réglementaires sont les suivants :

- LAeq (6h - 22h) ou LAeq diurne : niveau sonore équivalent pondéré A sur la période 6h-22h ;
- LAeq (22h - 6h) ou LAeq nocturne : niveau sonore équivalent pondéré A sur la période 22h-6h.

Ils correspondent à l'énergie cumulée perçue sur les périodes correspondantes pour l'ensemble des bruits émis par le système ferroviaire et s'expriment en décibels pondérés A (dB(A)). Cette pondération correspond au filtre de l'oreille humaine, elle permet de tenir compte de sa sensibilité moindre aux basses fréquences.

Le codage des événements ferroviaires permet d'identifier la contribution sonore des seules circulations ferroviaires.

Les logiciels de dépouillement des mesures permettent d'extraire les niveaux sonores des circulations ferroviaires pendant chaque période réglementaire :

- les LAeqfer particuliers jour et nuit, c'est-à-dire les niveaux sonores ferroviaires uniquement pendant le temps de passage des trains lors de la période (sur la durée cumulée des différents passages)
- les LAeqfer partiels (niveaux sonores ferroviaires de ces mêmes circulations ramenés sur l'ensemble de la durée de la période réglementaire)

Il est essentiel de ne pas confondre ces deux types de LAeq (particulier et partiel).

Les niveaux à comparer aux limites réglementaires sont les LAeqfer partiels, de jour et de nuit :

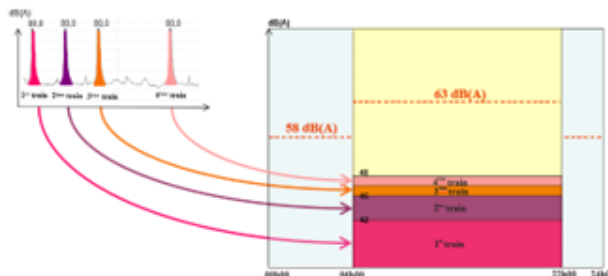
- LAeq partiel fer sur période diurne (6h-22h) et
- LAeq partiel fer sur période nocturne (22h-6h).

Il convient de rappeler que le LAeqfer particulier n'est pas un niveau sonore ferroviaire à retenir, conformément à l'arrêté du 8 novembre 1999 qui stipule sans ambiguïté que les niveaux de la contribution sonore de l'infrastructure s'expriment sur **l'ensemble des périodes** (6h-22h) et (22h-6h) et non sur la durée de passage des circulations pendant ces périodes.

Une comparaison des LAeqfer particuliers avec les seuils réglementaires, exprimés pour des niveaux en LAeqfer partiels, n'a donc aucun sens, puisque cela reviendrait à comparer des grandeurs totalement différentes : le cumul d'énergie sonore liée à la circulation des trains est le même dans les deux cas mais la période de temps à laquelle on le rapporte est différente. Il faut donc bien rapporter cette énergie à la période retenue par la réglementation.

Exemples de comparaisons de niveaux partiels et particuliers dans différents cas

Si on reprend l'exemple théorique illustré ci-avant avec de un à quatre passages de trains dans la période diurne :



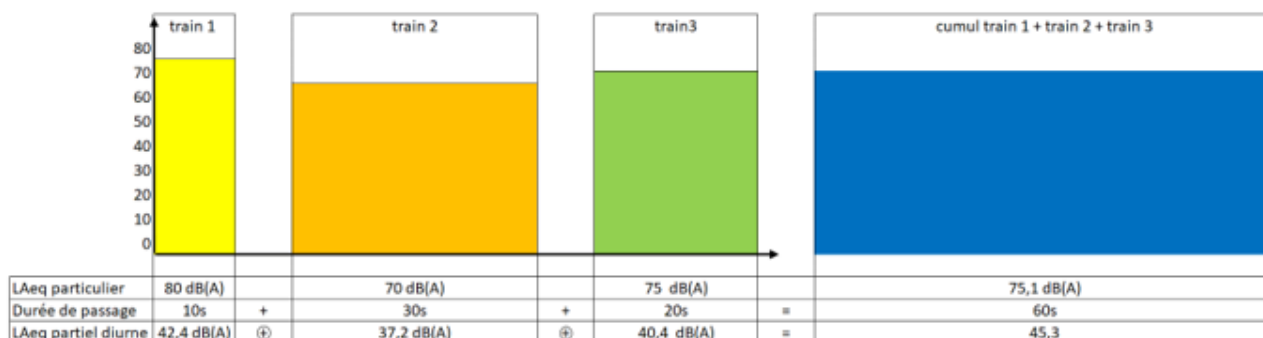
Ex 1 : 1 passage de train pendant la journée avec le train émettant 80 dB(A) pendant 10 secondes
LAeq particulier = 80 dB(A), durée de passage : 10 secondes, LAeq partiel diurne (=LAeq(6h-22h)) 42 dB(A)

Ex 2 : 2 passages de train pendant la journée avec chaque train émettant 80 dB(A) pendant 10 secondes
LAeq particulier = 80 dB(A), durée cumulée de passage : 20 secondes, LAeq partiel diurne 45 dB(A)

Ex 3 : 4 passages de train pendant la journée avec chaque train émettant 80 dB(A) pendant 10 secondes
LAeq particulier = 80 dB(A), durée cumulée de passage : 40 secondes, LAeq partiel diurne : 48 dB(A)

En réalité, chaque train possède sa « signature acoustique » selon son type (TGV, grande ligne, TER, Fret, ...), sa vitesse, sa longueur, Les niveaux sonores et durées de passage sont donc variables d'un train à l'autre.

Ex 4 : passage de 3 trains sur la période diurne (6h-22h) de niveaux sonores et durées de passage différentes



Niveau de bruit ferroviaire généré par le passage des trains 1, 2 et 3 pendant la période diurne

LAeq partiel des 3 trains = 45,3 dB(A) obtenu par la somme énergétique des LAeq partiels :

$$42,4 \oplus 37,2 \oplus 40,4 = 45,3 \text{ dB(A)}$$

Durée de passage de 60 secondes cumulées

Absence de passage pendant le reste de la période diurne : 0 dB(A) pendant (57600 - 60) = 57 540 secondes

LAeq particulier des 3 trains pendant les 16h de la période diurne (57 600 secondes)

= 45,3 + 10LOG10(57600/60) = 75.1 dB(A), niveau de bruit « moyen » pendant les 60 secondes cumulées de passage

Si les logiciels de dépouillement donnent fréquemment la valeur du LAeq particulier et la durée cumulée des temps de passage des trains, la comparaison des niveaux sonores mesurés avec les seuils réglementaires doit bien se faire sur le LAeq partiel.

Dans cet exemple de trois circulations, c'est bien la valeur de 45.3 dB(A) (niveau de bruit « moyen » des trois circulations, rapporté à la période diurne) qui est à comparer au seuil et non la valeur de 75.1 dB(A).

On constate malheureusement couramment dans des rapports d'expertise une confusion entre ces deux valeurs.

Autres indicateurs

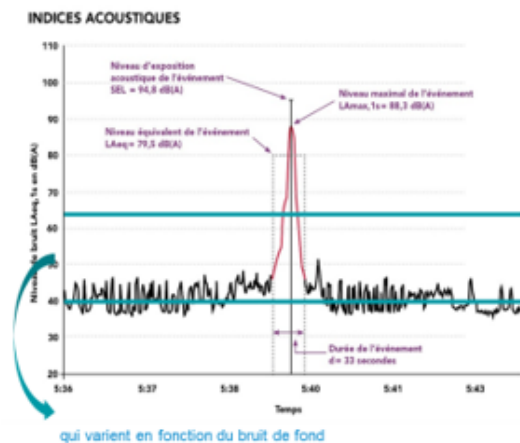
L'arrêté du 29/09/2022 laissait la possibilité aux gestionnaires d'infrastructures de fournir en complément des indicateurs, notamment à points, permettant de mieux caractériser le phénomène de soudaineté et de répétitivité du bruit généré par les infrastructures de transport ferroviaire, et permettant d'en faciliter la lecture pour le grand public. SNCF Réseau considère qu'un indicateur à point n'est pas pertinent. Il apporterait de la confusion supplémentaire, pose des questions concernant les méthodes d'affectations de points aux différents types de circulations, ... Les résultats présentés dans le rapport avec le NPC sont particulièrement surprenants : juste derrière le site extrêmement circulé (Paris Coriolis), les sites ressortant le plus en NPC sont Mitry-Mory et Herblay, sites moyennement circulés, avec peu de pics supérieurs à 75 dB(A) ou 80 dB(A) et des niveaux LAeq parmi les plus faibles. Il est difficile de comprendre, alors que les études ont montré que la gêne de long terme est bien corrélée au LAeq et que les premiers retours de Genifer indiquent que les personnes ayant participé à l'enquête sont principalement gênées par les trains les plus bruyants, que cet indicateur est pertinent pour illustrer la gêne... Sans compter qu'on ne peut pas dimensionner de protections à partir de ce type d'indicateur.

De plus, un gestionnaire d'infrastructure doit répondre aux demandes formulées par les Autorités Organisatrices des Mobilités ou des entreprises ferroviaires concernant le nombre de train, le type de matériel roulant, les vitesses, les périodes de circulations. Supprimer des trains ou diminuer la vitesse des circulations (ce qui n'est pas neutre en termes de nombre de circulations possible) ne peut donc être un paramètre d'ajustement pour diminuer le bruit ferroviaire. Pour mémoire, ni la LOM, ni l'arrêté du 29/09/2022 ne prévoient une évolution des seuils réglementaires, même si on peut imaginer que le but est, à terme, d'être plus protecteur vis-à-vis des riverains. Le dimensionnement de protections plus importantes est parfaitement possible avec les outils et indicateurs actuels. Les dimensionnements de protections ne seraient pas foncièrement différents en retenant un seuil basé sur un indicateur évènementiel ou en abaissant un seuil exprimé en LAeq selon les seuils retenus.

Les échanges au sein du groupe de travail au sein du CNB avait abouti à un **consensus : la nécessité de FAIRE SIMPLE. La multiplication des indicateurs ne va pas dans ce sens.**

Text

Le Text n'est pas bien défini normativement à ce jour. S'il peut être équivalent à la durée du temps de passage à proximité des voies (cas des mesures faite dans la première phase de l'expérimentation) ce n'est plus du tout le cas à plus grande distance (certains riverains de LGV se plaignent à plusieurs centaines de mètres des voies). les points retenus dans l'arrêté ne permettent pas de valider la façon dont ce Text est défini (cette durée de détection varie selon le bruit de fond et le niveau sonore de la circulation à caractériser).



Le temps d'exposition est supérieur au seul temps de passage puisqu'il intègre le temps d'approche et de fuite du train. Il est d'autant plus grand que le point est éloigné de la voie et dépend du niveau du bruit de fond : plus le bruit de fond est bas, plus on entend le train longtemps lorsqu'il arrive et s'éloigne. A grande distance, des bâtiments ou du relief peuvent masquer partiellement le train lors de son passage. La durée de la perception de l'évènement est donc particulièrement complexe à caractériser. Elle est pourtant prise en compte par les indicateurs T_{evt} et SEL.

Si dans les cas simples, les mesures réalisées dans le cadre de l'expérimentation en cours ont montré que l'erreur commise sur l'estimation de ce T_{evt} a un impact assez limité sur la détermination de la valeur de ces indicateurs, ce n'est pas forcément le cas dans des conditions plus complexes.

Analyse des coûts des mesures de caractérisation d'indicateurs évènementiels

Comme indiqué dans le rapport, une analyse des coûts supplémentaires générés par le matériel complémentaire pour l'identification précise des trains est à réaliser : poser un sonomètre indépendant qui code seul, devoir faire un lourd post traitement ou devoir intervenir dans les emprises en posant du matériel sur l'infrastructure n'a pas les mêmes conséquences en termes de coûts, de délai de réalisation et d'organisation à mettre en place.

Prise en compte des basses fréquences sur LGV

La prise en compte des basses fréquences est une problématique spécifique liée aux T_{aGV} . Le dB(A) prend en compte la pondération de l'oreille humaine. Les sons graves se propagent à plus grande distance mais ils sont moins bien perçus par l'oreille humaine. Rien ne permet d'affirmer à ce stade que leurs effets sur la santé sont sous-estimés.

Documenter les niveaux en dB(C) est possible, mais il faut s'interroger sur l'objectif visé par leur prise en considération. Des études complémentaires sur la gêne spécifique à cette thématique sont à engager. Il ne suffit pas de mesurer des niveaux sonores en dB(C) pour être en capacité d'agir si des études épidémiologiques mettent en évidence un impact spécifique sur la santé. Il faudrait pour cela disposer de solutions techniques à proposer : les basses fréquences sont effectivement beaucoup plus difficiles à arrêter avec des écrans ou des traitements d'isolation de façade.

La première phase de l'expérimentation a mis en évidence des difficultés qui vont se révéler lors de la deuxième phase.

Présentation des résultats

La présentation des résultats de mesure sur des périodes spécifiques peut s'avérer problématique : il faut veiller à garder une cohérence entre les périodes retenues par la réglementation pour dimensionner des protections et celles pour lesquelles on présente des résultats de mesure. Prendre en compte la période de soirée concernée par une partie des heures de pointes et ne pas considérer une énergie trop « moyennée » sur l'ensemble de la période 6h-22h est possible. Le L_{den} intègre d'ailleurs déjà cette période avec une pondération spécifique.

En revanche, différencier la période de week-end et jours fériés n'est pas cohérent avec les données utilisées pour les études des impacts à long terme, basées sur le TMJA dans tous les pays. Se focaliser sur le trafic spécifique de certains jours dans l'année pourrait conduire à la demande de dimensionnement de protections sur les quelques jours les plus exposés, ce qui ne serait donc pas représentatif de la gêne de long terme (caractérisée sur une année complète).

Il est possible de présenter les N_{Ax} pour un point de mesure in situ. En revanche, il faudra circonscrire leur calcul à un nombre limité de récepteurs représentatifs : il n'est pas envisageable de présenter l'ensemble de ces valeurs à chaque étage de chaque récepteur étudié et à chaque horizon de calcul pour chaque période temporelle.

Zone d'ambiance très modérée

La première phase de l'expérimentation n'a pas permis d'estimer la faisabilité de caractériser des zones d'ambiance très modérée. Aucun point retenu pour cette première phase de l'expérimentation n'avait pour vocation d'identifier une zone d'ambiance très modérée. On a au contraire choisi des points volontairement proches des voies directement exposé à un trafic ferroviaire important.

On peut évidemment lorsqu'on compare les niveaux sonores mesurés sur les trois périodes dire dans quel type de zone se trouve le point de mesure mais "qualifier" correctement le critère de zone d'ambiance préexistante à grande échelle est différent : il faut être en capacité de déterminer le périmètre de cette zone en fonction des sources de bruit en présence. La question de la zone très modérée se posera essentiellement dans le contexte de création de voie en rase campagne (donc en l'absence d'infrastructures existantes).

La définition des zones d'ambiances très modérées (qui ne peut se baser que sur des mesures sauf à les multiplier de façon exponentielle) pose de véritables questions : il n'est en effet pas possible de s'assurer du fait qu'aucun bâtiment qu'on situerait en zone d'ambiance modérée (d'après une modélisation des données disponibles – et très limitées- sur les routes en état actuel) ne répondrait pas au critère d'une zone d'ambiance très modérée si on faisait un point de mesure sur ce bâti. On aurait donc des configurations défavorables aux riverains (hypothèse sur zone d'ambiance définissant un objectif moins protecteur).

Conclusion

SNCF Réseau est particulièrement attaché à l'applicabilité et à la fiabilité des indicateurs envisagés pour évaluer l'impact acoustique. En effet, parce que les Gestionnaires d'Infrastructures ont une obligation de résultat en matière de maîtrise des effets sonores des infrastructures, **il est absolument nécessaire de pouvoir s'appuyer sur des indicateurs énergétiques dont la méthode d'évaluation est fiable, reproductible et comparable.**

SNCF Réseau est partisan de **ne pas introduire de nouveaux indicateurs évènementiels contraignants et préconise de s'appuyer sur l'indicateur LA_{eq}**, qui reste le plus pertinent pour prendre en compte l'effet d'une exposition à des niveaux de bruit répété sur la santé, **en abaissant éventuellement les seuils réglementaires.**

SNCF Réseau attire aussi l'attention sur **les conséquences financières d'une éventuelle évolution réglementaire** : elles se traduiraient pour les futurs projets par un dimensionnement supérieur des protections acoustiques à mettre en œuvre, et augmenteraient de fait les coûts de projet. **En cas d'évolution des seuils des indicateurs énergétiques, il faut s'assurer que les projets ferroviaires de toute nature restent finançables** afin de ne pas rebasculer du trafic du fer vers la route et perdre ainsi tous les bénéfices du ferroviaire, qui est la meilleure réponse face aux effets du changement climatique car il génère beaucoup moins de CO₂ que la route, prend moins d'espace, consomme moins d'énergie, génère moins d'accidents, etc

SNCF Réseau préconise pour la même raison que les évolutions réglementaires envisagées ne concernent pas rétroactivement le réseau existant.

La meilleure acceptabilité du ferroviaire, indispensable pour répondre aux objectifs environnementaux de la France, passe par une réglementation applicable, claire, finançable, associant tous les acteurs et qui bénéficiera de façon équitable à tous les territoires concernés.



Note de positionnement Bruitparif

Afin de mieux prendre en compte les critères d'intensité et de répétitivité des nuisances dans la réglementation relative au bruit ferroviaire, et compte tenu des travaux réalisés dans le cadre de la phase 1 de l'expérimentation prévue par l'arrêté du 29 septembre 2022, Bruitparif souhaite faire part de ses points de vue suivants.

1. Bruitparif est d'accord avec la recommandation n°1 qui est faite dans la partie 7 du rapport, à savoir que la production des indicateurs événementiels de bruit ferroviaire ne doit s'appliquer que dans les situations pour lesquelles le bruit événementiel ferroviaire est caractérisé. Pour cela, l'application du critère « d'émergence » de 3 dB des événements ferroviaires, par rapport aux autres événements sonores présents dans le bruit résiduel, tel que défini dans la norme NF S 31-088 sur le mesurage du bruit ferroviaire, apparaît pertinente. Il conviendrait de ce fait d'introduire dans la réglementation un critère de restriction de la production des indicateurs événementiels de bruit ferroviaire dans les cas appropriés.

2. Lorsque le bruit événementiel ferroviaire est caractérisé, Bruitparif considère qu'il est possible de produire les indicateurs événementiels visés par l'arrêté du 29 septembre 2022 sans surcoût par rapport à ce qui se pratique actuellement lors de la réalisation de mesures de constat, dans la mesure où le codage des événements ferroviaires fait déjà partie des nécessités pour calculer les indicateurs de la réglementation actuelle. La démonstration a été faite par Bruitparif que cela pouvait être fait de manière automatisée sur plus de 218 000 événements lors de l'expérimentation, avec des matériels de mesure acoustique classiquement utilisés par les bureaux d'étude. Les progrès technologiques déjà réalisés ou à venir (matériels permettant de localiser la provenance du bruit ou recourant à l'IA pour reconnaître de manière automatisée les signatures acoustiques ferroviaires) permettront de progresser dans la précision de la détection et de la caractérisation des événements sonores ferroviaires.

3. Pour décrire correctement un événement acoustique ferroviaire, la position de Bruitparif est que les caractéristiques suivantes devraient être systématiquement produites, a minima, pour toutes les infrastructures ferroviaires :

- **LAeq,1s,max** : cet indicateur traduit de manière simple la **notion d'intensité sonore maximale en dB(A) au passage** d'un train.

Le LAeq,1s,max est à privilégier par rapport au LAPsmax car il est plus largement utilisé par les acousticiens lors des mesures et c'est également l'indicateur qui peut être produit par modélisation. Les deux indicateurs s'avèrent par ailleurs extrêmement corrélés entre eux ($R > 0,99$) et le LAPsmax peut par ailleurs facilement être reconstitué à partir de LAeq, 100ms ou 125ms qui est la pratique de mesurage la plus répandue.

L'indicateur LAeq,1s,max pourrait être utilement utilisé pour dimensionner les protections acoustiques car il permet de traduire la gêne instantanée des populations lors des circulations ferroviaires. Le fait de dimensionner les protections sur les valeurs maximales de bruit généré au passage des circulations ferroviaires serait de nature à améliorer la protection des riverains. Le niveau de protection dépendrait ainsi essentiellement des trains les plus bruyants, et non plus de l'indicateur LAeq de long terme calculé à partir de l'ensemble des circulations ferroviaires.

Lors de la réalisation de mesures de constat, il est possible de fournir une distribution des valeurs mesurées en LAeq,1s,max des circulations ferroviaires sur les différentes périodes de référence (jour, soirée, nuit, 24h). Pour dimensionner les protections, les valeurs les plus fortes observées pourraient être retenues (par exemple sur la base d'un percentile 5 ou 10 de la distribution, à définir), avec prise en compte éventuellement de manière complémentaire d'un nombre de circulations ayant dépassé un certain seuil X (introduction éventuelle d'un critère en NAX).

Lors de la caractérisation par modélisation d'un état existant ou futur, il devrait être possible de fournir une valeur de LAeq,1s,max par groupe de circulations ferroviaires de caractéristiques communes (type de train, longueur, vitesse, voie). Là-encore, les niveaux LAeq,1s,max les plus forts, sous réserve que le nombre de circulations associées soit suffisamment représentatif, pourraient être retenus pour le dimensionnement des protections.

- **LAE (aussi nommé SEL_A)** : cet indicateur correspond au niveau d'exposition sonore en dB(A) lors du passage d'un train. Il correspond à la dose de bruit reçue par un riverain au passage d'un train. Cet indicateur est le plus approprié par construction pour rendre compte de manière simple, sans recourir à des indicateurs de psychoacoustique, de l'énergie sonore liée au passage d'un train. Le SEL simplifie la comparaison des événements acoustiques en les normalisant à une durée standard d'une seconde, quelle que soit la durée réelle de l'événement. Cette normalisation permet une comparaison directe du contenu énergétique de différents événements sonores. En mesurant ainsi l'énergie acoustique totale, SEL constitue un outil précieux pour l'analyse du bruit, en particulier dans les environnements où des niveaux de bruit intermittents et fluctuants sont présents.

Cet indicateur permet de comparer des événements sonores entre eux, en intégrant à la fois la dimension « niveau sonore » et la dimension « durée de l'événement ». Ainsi, à niveau sonore équivalent au passage, une double rame TGV aura un SEL de 3 dB supérieur au SEL d'une rame simple, un train de fret deux fois plus long qu'un autre se verra attribué un SEL augmenté de 3 dB(A), alors qu'aucune différence ne pourra être faite entre les deux cas à travers les valeurs de LAeq,1s,max ou même de LAeq,Tevt. Bien que les études scientifiques existantes n'aient pas pu fournir jusqu'à présent de connaissances précises quant à l'influence de la durée de l'événement sonore sur la gêne instantanée ressentie, il fait toutefois consensus que deux pics de bruit ayant le même niveau sonore mais étant de durée différente ne susciteront pas le même ressenti pour les riverains. Aussi, le SEL est un indicateur qui nous semblerait prioritaire à utiliser dans le cadre de la construction d'un compteur d'événements sonores à points (voir plus loin), et nous considérons donc utile de le retenir, a minima, à des fins d'information et de documentation sur le bruit généré par les circulations ferroviaires.

Qui plus est, cela n'introduit aucun effort supplémentaire ni surcoût dans la mesure où la détermination des SEL des différents événements sonores ferroviaires est déjà faite de manière implicite pour calculer les indicateurs de niveaux sonores équivalents par période réglementaire (LAeq,jour, soirée, nuit). Cela ne rajoute donc aucun travail supplémentaire par rapport à ce qui se pratique actuellement pour les mesures de constat. En effet

$$LAeq,T = 10 \times \log_{10} \left(\frac{1}{T} \sum_{i=0}^n 10^{SEL_i/10} \right)$$

où n est le nombre d'événements sonores ferroviaires détectés sur la période de temps T.

Nous recommandons pour des questions d'homogénéisation des pratiques et en référence avec les pratiques usuelles de calcul du SEL dans le domaine du bruit aéroportuaire notamment, de borner les événements acoustiques dans la période « utile » d'observation qui correspond à l'intervalle de durée définie par LAmax-10 dB(A) et qui concentre la grande majorité de l'énergie sonore (voir ci-dessous).

- **Durée Tevt** : cet indicateur fait partie selon nous des caractéristiques minimales à produire pour classer les événements acoustiques. Afin de simplifier sa caractérisation et d'homogénéiser les pratiques, nous recommandons de déterminer Tevt par l'intermédiaire de la durée comprise dans l'intervalle LAmax-10 dB(A) qui concentre une grande partie de l'énergie sonore de l'événement. Les analyses réalisées par Bruitparif dans le cadre de l'expérimentation phase 1 ont démontré que le fait de borner les événements dans cet intervalle LAmax-10 dB(A) n'avait qu'un impact limité sur le calcul de l'indicateur SEL (écart de l'ordre de 0,2 dB(A) à 0,3 dB(A)).
- **Horodatage de l'événement** : nous préconisons de retenir l'heure locale correspondante au moment de l'occurrence du niveau maximal de pression acoustique. Le fait de disposer d'un horodatage des événements est indispensable pour pouvoir produire des indicateurs agrégés par période. Cela permet par ailleurs de mettre en correspondance les événements acoustiques détectés avec les circulations ferroviaires (dont le type de train) lorsque des données d'horodatage des circulations sont disponibles à proximité du lieu de mesure.

La position de Bruitparif rejoint en ce sens la norme ISO 20906 (relative aux modalités et exigences relatives aux dispositifs de surveillance du bruit des aéronefs au voisinage des aéroports), qui définit le jeu de données nécessaire à la classification d'un événement acoustique comme étant composé du niveau maximal de pression acoustique pondéré (Lp,AS,max,i et/ou Lp,A,eq,1 s,max,i), du niveau d'exposition au bruit, LE,A,i, de la durée, Ti, et d'une indication horaire, qui est l'heure locale soit au moment de l'occurrence du niveau maximal de pression acoustique, soit au début de l'événement de bruit.

À des fins de bonne information du public et de traçabilité des indicateurs agrégés calculés, Bruitparif recommande de fournir systématiquement en annexe des mesures de constat la liste des événements sonores ferroviaires qui ont pu être détectés avec, a minima, les caractéristiques suivantes : horodatage, LAeq,1s,max, SEL, Tevt, complétée si cela est disponible par le type de train, sa vitesse, la voie de circulation, voire d'autres paramètres comme précisés ci-après.

4. Dans le cas des trains circulant à plus de 250 km/h, Bruitparif est d'accord avec le fait de recommander la production complémentaire des indicateurs LCEq,1s,max et SEL_C afin de tenir compte des spécificités de ce type d'événement sonore.

Bruitparif serait même pour généraliser la production des indicateurs L_{Ceq,1s,max} et SEL_C dans le jeu de données à produire pour caractériser un événement sonore ferroviaire, quelle que soit le type de circulation.

Pour Bruitparif, l'utilisation exclusive du dB(A) (décibel pondéré selon le filtre A) dans la réglementation actuelle en matière de bruit des transports présente en effet plusieurs limitations :

- Le dB(A) ne rend pas compte de la sensibilité accrue de l'oreille humaine dans certains domaines de fréquences, notamment dans les basses fréquences lorsqu'on est en présence de niveaux forts comme ceux qui peuvent être rencontrés avec des pics de bruit qui atteignent ou dépassent 80 dB.
- Les sons graves se propagent beaucoup plus loin que les sons aigus. Ils sont donc beaucoup plus impactants sur le territoire.
- Les sons graves sont beaucoup plus difficiles à arrêter avec des écrans ou des traitements d'isolation acoustique des bâtiments. Ils sont donc beaucoup plus invasifs.
- Les effets sur la santé des basses fréquences restent vraisemblablement sous-estimés.

Pour toutes ces raisons, il nous semblerait important de prendre en compte le contenu fréquentiel des événements sonores ferroviaires, a minima par la prise en compte du niveau pondéré C en complément du niveau pondéré A, dans le jeu de données à produire pour caractériser les événements sonores.

D'une manière plus large, la liste des indicateurs à produire pour décrire un événement sonore ferroviaire pourrait être complétée par des indicateurs spécifiques, lorsque des signalements de riverains ont été portés à la connaissance du gestionnaire. Cela peut porter sur des caractéristiques fréquentielles spécifiques (crissements par exemple) ou de la présence d'une spécificité de la voie (rupture de longs rails soudés) par exemple.

5. En remplacement de la représentation des indicateurs de type NAX par plages de 2 dB(A) (voir figure 1), ou du moins en complément, Bruitparif recommande de fournir la distribution des niveaux L_{max} (et également des niveaux SEL) mesurés au cours de chaque période (jour, soirée, nuit, 24h) sous la forme d'un histogramme cumulé (voir figure 2). Le pas de représentation resterait à définir. Par expérience, faire des plages plus fines que 3 dB génère des graphiques difficiles à lire.

L'avantage de ce type de représentation nous semble d'être plus facile à appréhender par le public qu'une représentation des NAX et de permettre de retrouver les valeurs de NAX que l'on souhaite. C'est donc une représentation synthétique qui a le mérite de porter l'ensemble des informations.

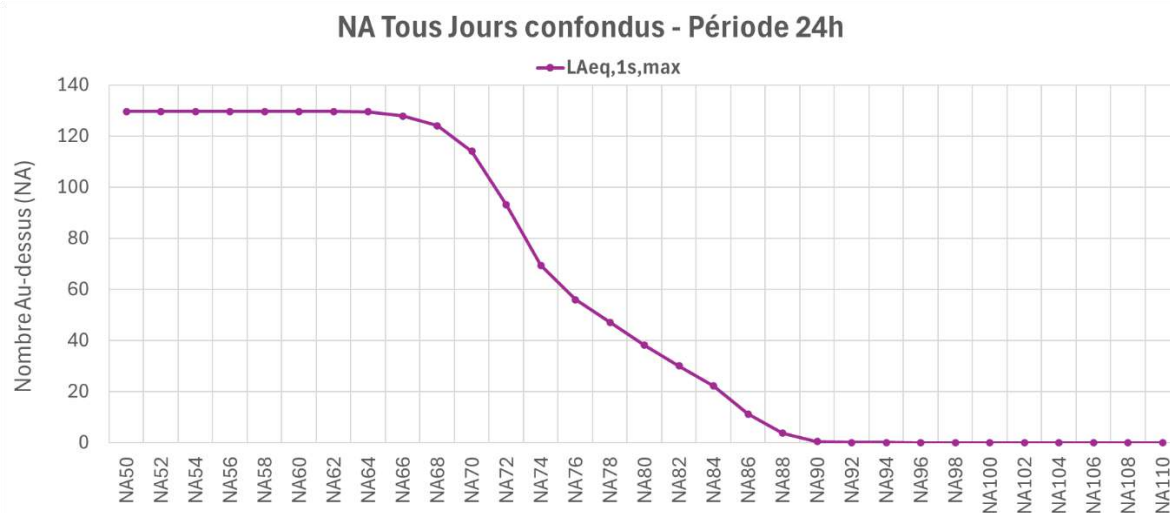


Figure 1 : Représentation des indicateurs NAX (ici par classe de 2 dB(A) pour le site de mesure du bruit ferroviaire de Bois-le-Roi en Île-de-France)

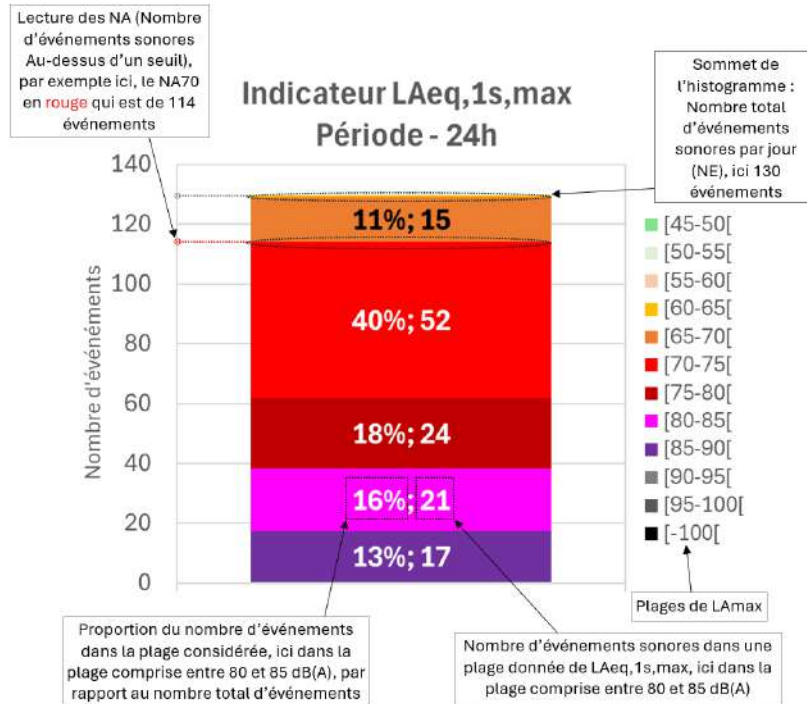


Figure 2 : Représentation de la distribution des LAmax (ici par plages de 5 dB(A) pour le site de mesure du bruit ferroviaire de Bois-le-Roi en Île-de-France)

Ce mode de représentation (distribution des LAmax sous la forme d'histogramme) permet facilement de comparer deux situations dans le temps, d'identifier les évolutions principales et complètent très utilement la fourniture des indicateurs LAeq de long terme. Il a déjà été largement éprouvé par Bruitparif dans le cadre de la communication des résultats de mesure du bruit lié au trafic aérien auprès d'acteurs professionnels comme du public (cas des CCE d'aéroports par exemple) – voir exemple pour l'aéroport de Paris-Saclay-Versailles dans la figure 3.

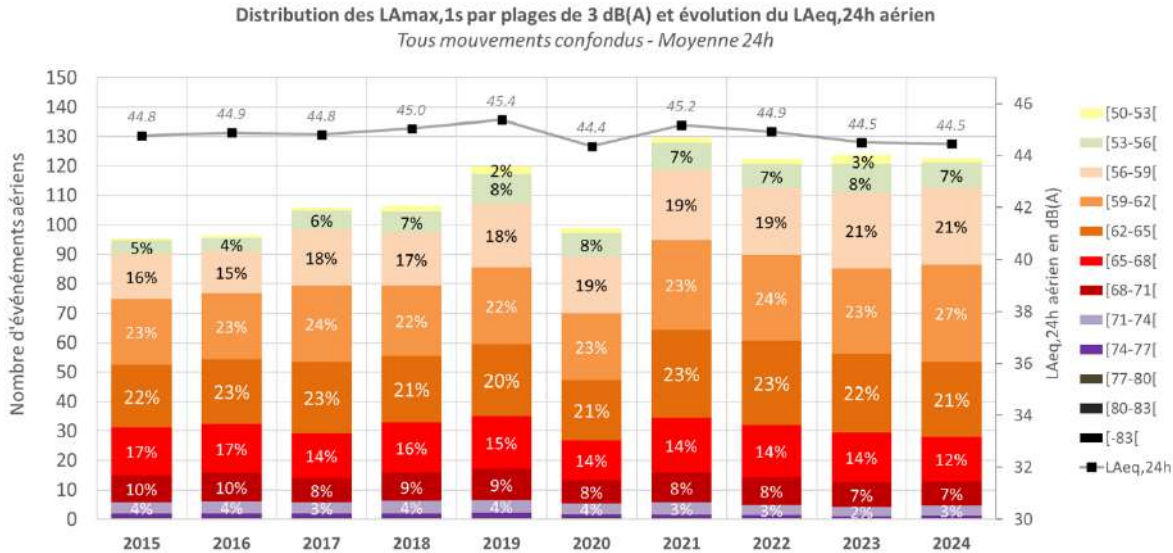


Figure 3 : Exemple d'utilisation de la représentation de la distribution des LAmax pour traduire les évolutions apportées en matière d'environnement sonore (cas ici d'un site soumis aux nuisances sonores des tours de piste de l'aéroport de Paris- Saclay-Versailles anciennement nommé Toussus-le-Noble)

6. Afin de disposer d'un indicateur agrégé qui pourrait être utilisé pour tenir compte de la répétitivité des événements, tout autant que de leur intensité, Bruitparif défend le principe d'introduire à terme dans la réglementation un nouvel indicateur de long terme qui soit un **indicateur de comptage d'événements sonores à points**. Un tel indicateur pourrait être particulièrement adapté pour suivre les évolutions et pour être pris en considération pour traduire la notion de modification significative, à la place du critère réglementaire actuel basé sur une augmentation de 2 dB(A) du niveau de bruit équivalent, critère qui ne nous semble guère adapté dans le cas de bruit à composante événementielle comme l'est le bruit ferroviaire.

Les éléments qui suivent décrivent les grands principes qui soutiennent la construction de ce nouveau type d'indicateur.

Tenir compte de tous les événements

Le premier principe est de compter tous les événements, ce qui présente un double mérite :

Tout d'abord, cela permet de ne pas induire d'effets de seuil, contrairement à ce qui se produit avec des indicateurs de type NAseuil (nombre d'événements au-dessus d'un seuil) qui ne décomptent que les événements dont le niveau maximum atteint au cours de l'événement dépasse un certain seuil fixé. Cette limite des indicateurs de type NAseuil, qui les rendent impropres à leur introduction dans la réglementation, se comprend aisément puisque 50 trains générant chacun 81 dB(A) de niveau d'exposition sonore SEL conduit à un NA80 de 50 alors que 200 trains générant chacun 79 dB(A) de niveau SEL (perçu à peine moins fort à l'oreille) conduirait à un NA80 de 0 ! On voit mal comment ce type d'indicateurs pourrait apporter aux riverains une garantie de meilleure prise en compte du caractère répétitif des pics. Avec un compteur à points d'événements comme cela est proposé par Bruitparif, les résultats obtenus dans l'exemple précédent seraient tout autre : le compteur passerait ainsi de **152** (50 trains affectés chacun d'un nombre de points¹⁴ =3) à **528** (200 trains affectés chacun d'un nombre de points =2,6). On comprend vite qu'une approche qui consisterait à ne compter que les événements les plus bruyants au-dessus d'un seuil pourrait avoir rapidement des effets contre-productifs.

Comparaison (niveaux exprimés en SEL)	Indicateur NA80 (pour le SEL)	Compteur d'événements à points (NPC*)	LAeq,24h,fer
50 trains à 81 dB(A) (3 points)	50	152	48,6 dB(A)
200 trains à 79 dB(A) (2,6 points) (à peine moins fort à l'oreille)	0	528 (X 3,5)	52,6 dB(A) (+ 4 dB(A))

* : proposition de calcul à partir d'un NP = $2^{((SEL-SEL_{réf})/X)}$ avec X=10 et SEL_{réf} = 65 dB(A) et sans prise en compte de coefficients par périodes

D'autre part, cela permet de s'assurer de la progressivité de ce nouvel indicateur dans le temps avec l'évolution du trafic, toutes choses égales par ailleurs. Il relève en effet du bon sens que pour bien prendre en compte la répétitivité des pics, il est nécessaire que la valeur numérique de ce nouvel indicateur de long terme varie linéairement en fonction du nombre de pics. C'est-à-dire qu'un doublement du trafic doit induire un doublement de la valeur numérique de l'indicateur, si les autres paramètres (émissions unitaires des matériels, protection acoustique de type écrans) sont inchangés. Là encore, c'est une différence significative avec les indicateurs de type NAseuil comme avec les indicateurs de type LAeq de long terme.

Prenons ainsi l'exemple d'une voie qui serait circulée à l'heure actuelle par 150 trains voyageurs (niveau SEL de 79 dB(A), nombre de points =2,6) et qui verrait l'offre de services augmentée de 50% :

Comparaison (niveaux exprimés en SEL)	Indicateur NA80 (pour le SEL)	Compteur d'événements à points	LAeq,24h,fer
150 trains à 79 dB(A) (2,6 points)	0 (car aucun train > 80)	396	51,4 dB(A)
225 trains à 79 dB(A) (2,6 points) (+50%)	0 (car aucun train > 80)	594 (+50%)	53,2 dB(A) (+1,8 dB(A))

Prenons ensuite un autre exemple d'une voie qui serait circulée à l'heure actuelle par 25 trains de fret (niveau SEL de 89 dB(A), nombre de points = 5,3) et 150 trains voyageurs (niveau SEL de 79 dB(A), nombre de points =2,6) et qui verrait l'offre de services voyageurs augmentée de 50% :

¹⁴ Voir partie 3 pour la manière dont le nombre de points pourrait être calculé

Comparaison (niveaux exprimés en SEL)	Indicateur NA80 (pour le SEL)	Compteur d'événements à points	LAeq,24h,fer
Situation actuelle de référence : 175 trains décomposés en 25 trains à 89 dB(A) (5,3 points) et 150 trains à 79 dB(A) (2,6 points)	25 (ne compte que les trains > 80)	=25*5,3+150*2,6= 528	55,7 dB(A)
Scénario : croissance de 50% de l'offre de service voyageurs : 250 trains décomposés en 25 trains à 89 dB(A) (5,3 points) et 225 trains à 79 dB(A) (2,6) (+50%)	25 (pas d'évolution)	=25*5,3+225*2,6= 726 (+38%)	56,4 dB(A) (+0,7 dB(A))

Encore un exemple : gardons l'exemple précédent avec le renforcement de l'offre de service et projetons-nous dans une dizaine d'années, échéance à laquelle théoriquement les trains de fret devraient faire beaucoup moins de bruit (gain de 10 dB - passage de 89 dB(A) à 79 dB(A), soit une division par deux du nombre de points passant de 5,3 à 2,6), et postulons également que des améliorations technologiques seront apportées au bruit des trains de voyageurs (diminution de 3 dB(A) - passage de 79 dB(A) à 76 dB(A), ou de 2,6 à 2,1 point)).

Comparaison (niveaux exprimés en SEL)	Indicateur NA80 (pour le SEL)	Compteur d'événements à points	LAeq,24h,fer
Situation actuelle de référence : 175 trains décomposés en 25 trains à 89 dB(A) (5,3 points) et 150 trains à 79 dB(A) (2,6 points)	25 (ne compte que les trains > 80)	=25*5,3+150*2,6= 528	55,7 dB(A)
Scénario : croissance de 50% de l'offre de service voyageurs et amélioration technologique des trains (fret comme voyageurs) : 250 trains décomposés en 0 train à 89 dB(A) (5,3 points) 25 trains à 79 dB(A) (2,6 points) et 225 trains à 76 dB(A) (2,1 points)	0	=25*2,6+225*2,1= 548 (+4%)	51,0 dB(A) (- 4,6 dB(A))

L'approche d'un compteur d'événements à points s'avère plus appropriée que ne le serait un indicateur de type NAseuil ou les indicateurs LAeq de long terme actuels à rendre compte de l'effet combiné dans le temps de l'évolution du trafic et des améliorations technologiques apportées. Ces exemples montrent également la difficulté que poserait l'introduction d'un seuil sur un indicateur de type NA.

Un moyen de limiter cet effet de seuil, comme proposé dans le rapport d'expérimentation phase 1, est de produire la distribution fine de l'ensemble des événements sonores, par exemple par plages de 1 ou 2 dB. Cela permettrait de s'affranchir de l'effet de seuil inhérent aux indicateurs de type NAX mais son utilisation pratique s'avèrerait lourde à mettre en œuvre dans le cadre de l'exploitation de mesures de bruit ou de la réalisation d'études d'impact. Pour les représentations cartographiques sous forme de contours de bruit en particulier, la multiplicité des seuils X de bruit et de nombre d'événements associés conduirait rapidement à la production de très nombreuses cartes, alourdirait considérablement les dossiers d'études d'impact et rendrait peu lisibles les évolutions mises en évidence. Il conviendrait en outre d'introduire dans la réglementation de multiples valeurs limites réglementaires correspondantes aux différents

seuils X de NAX considérés, ce qui irait à coup sûr vers une extrême complexification de la réglementation, la rendant inapplicable de fait.

S'affranchir de la règle implicite d'égale énergie

L'équivalence actuelle basée sur la règle d'égale énergie (50 pics de SEL 73 dB équivalent à 100 pics de SEL 70 dB équivalent eux-mêmes à 200 pics de SEL 67 dB) ou, pour le dire autrement, un doublement du trafic peut être compensé par une diminution de 3 dB des émissions unitaires pose problème dès lors qu'on compare deux situations dans le temps. Ce principe d'équivalence induit que l'introduction d'une seule circulation de train de fret (de niveau LAeq,Tevt 80 dB(A) et de durée 40 secondes) en période nocturne génère une modification de l'indicateur Lden équivalente à celle qui serait induite par l'introduction en période diurne de 200 trains de voyageurs (de niveau LAeq,Tevt 70 dB(A) et de durée 20 secondes). Ce qui semble tout de même un peu excessif, même si le passage d'un train de fret en période nocturne est bien sûr beaucoup plus gênant qu'un train de voyageur en journée, mais le rapport est-il vraiment de 1 pour 200 ?

Ces quelques exemples plaident pour introduire une autre échelle de pondération des événements sonores que celle qui consiste à considérer qu'un train de 79 dB(A) « compte » pour deux trains de 76 dB(A).

Les travaux de psychoacoustique qui se sont intéressés à la perception suggèrent qu'il faut un écart, entre deux sons, compris entre 6 et 10 dB pour avoir une impression de bruyance multipliée par deux (son perçu à l'oreille deux fois plus fort). C'est la raison pour laquelle nous proposons de nous inspirer de ces travaux et d'indicateurs psychoacoustiques tels que la sonie, et d'appliquer ce type de règle de correspondance - qui conduirait à considérer qu'un écart de X dB(A) (vraisemblablement compris entre 6 et 10 dB(A)) correspondrait à une impression de bruit deux fois plus ou deux fois moins fort - à la détermination du nombre de points à affecter à un événement. Ainsi, selon cette règle de correspondance avec un X égal à 10, un train de niveau sonore 79 dB compterait par exemple comme 2 trains de niveau sonore 69 dB, toutes choses par ailleurs égales (durée de l'événement et contenu spectral notamment).

L'introduction de cette règle de correspondance perceptive dans le compteur d'événements à points modifie de manière significative le rapport rendu possible entre évolution du trafic et évolution des niveaux sonores générés aux passages des trains. Un doublement du trafic nécessiterait ainsi une diminution de X dB (X compris probablement entre 6 et 10 dB) des niveaux sonores des pics de bruit (par évolution technologique à la source ou par mise en œuvre de protection acoustique renforcée) contre une diminution seulement de 3 dB avec la règle d'équivalence actuelle utilisée implicitement dans le calcul des niveaux équivalents (LAeq).

Tenir compte de la période d'apparition des pics de bruit

Les besoins de qualité d'environnement sonore des riverains dépendent de leur période de présence chez eux (présence accrue en soirée et la nuit par rapport à la journée les jours ouvrables mais aussi les week-ends en journée par rapport aux jours ouvrables).

Aussi, le compteur d'événements à points devra être évalué à minima pour les trois périodes de référence suivantes (que l'on retrouve dans la réglementation européenne) :

- le jour (6-18h en France ou 7-19h dans d'autres pays)
- la soirée (18-22h en France ou 19-23h dans d'autres pays)
- la nuit (22-6h en France ou 23-7h dans d'autres pays)

Les exigences à atteindre (valeurs seuils ou quotas de points à respecter en situation riverains) devront être différenciées selon les périodes de sensibilité accrue des riverains au bruit (exigences plus contraignantes la nuit en raison des impacts sur le sommeil par exemple, ou la soirée par rapport au jour en raison de la plus forte présence au domicile).

Il nous semble que l'introduction de différenciations jour/soir/nuit devrait également être accompagnée d'une différenciation jours de semaine / jours de week-end et jours fériés voire de la différenciation entre différentes saisons de l'année (été/hiver).

Proposition de méthode de calcul

En combinant les principes précédents, il est possible d'envisager un nouvel indicateur NPC (Noise Point Counter) intégrant une meilleure prise en compte de la perception de la gêne instantanée tout en ayant les caractéristiques de linéarité souhaitées relativement à leur répétitivité. Le calcul se ferait en deux étapes : affectation d'un nombre de points à chaque événement puis sommation du nombre de points sur la période d'intérêt considéré.

Etape 1 : affectation d'un nombre de points à chaque événement (NP)

La méthode de calcul consiste à affecter un nombre de points à chaque événement sonore ferroviaire à partir d'un descripteur acoustique associé.

Au stade des connaissances actuelles, et afin de considérer un descripteur relativement simple à mesurer et à modéliser, nous proposons d'utiliser le SEL pour le calcul du nombre de points associé à un événement sonore. Cet indicateur présente l'avantage d'intégrer la composante « durée de l'événement » et pourrait être modélisé avec les logiciels existants de modélisation (Mithra SIG par exemple) à l'instar du LAMax par exemple.

A ce stade, une première proposition de formulation du Nombre de Points NP serait :

$$NP = 2^{\frac{SEL-SEL_{ref}}{X}}$$

X et SEL, réf restant à déterminer dans le cadre d'une étude de type Genifer mais réalisée à plus grande échelle

Etape 2 : sommation par période (NPC pour Noise Point Counter)

Pour calculer le compteur sonore à points d'événements sur un intervalle de temps (jour, soirée, nuit), celui-ci se ferait par sommation des poids calculés pour chaque événement, ceux-ci étant additifs. La formulation de cet indicateur à points NPC pour être de la forme suivante :

$$NPC_{den} = NPC_d + \alpha * NPC_e + \beta * NPC_n$$

Où : α et β sont des coefficients de pondération restant à déterminer dans le cadre d'une étude de type Genifer mais réalisée à plus grande échelle et intégrant une analyse de la variabilité de la gêne en fonction des périodes de la journée ou des jours de la semaine.

$$NPC_d = \sum_{i=1}^{Nd} NP_i$$

$$NPC_e = \sum_{i=1}^{Ne} NP_i$$

$$NPC_n = \sum_{i=1}^{Nn} NP_i$$

Dans lesquels Nd, Ne, Nn représentent respectivement le nombre total de points calculés lors de la période de journée, de soirée et de nuit.

Applicabilité réglementaire

Cet indicateur pourrait être mis en œuvre d'un point de vue technique dans les études d'impact de la même manière que l'est actuellement l'indicateur LAeq, à savoir :

- calcul prédictif par modélisation à partir des signatures acoustiques théoriques des trains et du trafic envisagé à terme et évaluation de la valeur de l'indicateur en tout point du domaine d'étude ainsi qu'au niveau de points récepteurs en façade des habitations

- mesure de constat sur le terrain (pour caractériser l'état initial ou l'état après mise en œuvre d'un projet de nouvelle infrastructure ou de la modification d'une infrastructure existante) à l'aide d'un sonomètre, l'évaluation de l'indicateur ne nécessitant que la mesure des SEL des différentes circulations ferroviaires

Des objectifs (valeurs seuils ou quotas de points à respecter en situation riverains) pourraient être définis pour cet indicateur en distinguant a minima trois périodes de sensibilité au bruit différente des riverains : jour, soirée, nuit, et idéalement en introduisant également une différenciation jours ouvrables/jours de week-end pour la période jour (les objectifs à respecter pour la période jour des jours de week-end pourraient être les mêmes que la période soirée).

Par ailleurs, dans le cas d'un projet de modification d'une infrastructure, l'indicateur pourra être utilisé pour caractériser le caractère significatif de l'évolution (par exemple, augmentation de plus de X% de l'indicateur).

7. Bien que cela ne soit pas en lien direct avec l'expérimentation conduite en phase 1 de l'arrêté du 29 septembre 2022, Bruitparif rappelle les recommandations de l'Autorité Environnementale qui appelle, dans son dernier rapport d'activité¹⁵ à une meilleure prise en compte de la pollution sonore dans les projets d'infrastructures et d'aménagements. L'Autorité Environnementale estime que la réglementation nationale devrait être renforcée dans un sens plus protecteur de la santé humaine et que la résorption des points noirs de bruit doit à nouveau faire l'objet d'une priorité renforcée.

L'Autorité Environnementale déplore notamment l'écart important entre les valeurs limites réglementaires et les recommandations de l'OMS. Elle pointe plus particulièrement les seuils de bruit fixés pour le bruit ferroviaire

¹⁵ <https://www.igedd.developpement-durable.gouv.fr/le-rapport-annuel-2023-de-l-autorite-a3369.html>

qui bénéficient à l'heure actuelle d'un bonus de 3 décibels dans la réglementation nationale, alors que l'OMS met en évidence, pour un même niveau, un impact du bruit ferroviaire supérieur au bruit routier.

Bruitparif soutient la position de l'Autorité Environnementale qui vise à renforcer la réglementation nationale concernant le bruit des infrastructures terrestres et notamment le bruit des infrastructures ferroviaires. Ce renforcement pourrait passer par une actualisation des seuils définissant un Point Noir Bruit ferroviaire en supprimant le bonus ferroviaire de 3 dB.

L'essentiel à retenir

Bruitparif propose de retenir deux indicateurs qui pourraient être assortis de seuils et qui pourraient être introduits dans la réglementation en matière de bruit ferroviaire pour mieux prendre en compte l'intensité et le caractère répétitif des pics de bruit ferroviaires :

- **L'indicateur $L_{eq,1s,max}$ pondéré A et pondéré C** avec une valeur seuil X à respecter en situation riverains (éventuellement asservie d'une condition en NAX dans l'état initial avant protection) afin de **dimensionner les protections acoustiques** ;
- **Un indicateur de compteur d'événements sonores à points (NPC)** dont l'évolution en % pourrait être le **critère de définition du caractère significatif ou non d'une modification apportée à une infrastructure**. Une étude de type GENIFER réalisée à plus grande échelle permettrait de déterminer les valeurs des coefficients X et SELref les plus adéquats à prendre en compte dans la formule de calcul du nombre de points à affecter à un événement :

$$NP = 2^{(SEL-SELref)/X}$$

ainsi que les coefficients de pondération α et β en fonction des périodes de la journée à intégrer dans le calcul de l'indicateur NPC:

$$NPC_{den} = NPC_d + \alpha * NPC_e + \beta * NPC_n$$

Où :

$$NPC_d = \sum_{i=1}^{Nd} NP_i$$

$$NPC_e = \sum_{i=1}^{Ne} NP_i$$

$$NPC_n = \sum_{i=1}^{Nn} NP_i$$

Avec Nd, Ne, Nn représentant respectivement le nombre total de points calculés lors de la période de journée, de soirée et de nuit.

En complément, à des fins de bonne information du public et de traçabilité des indicateurs, Bruitparif recommande de fournir systématiquement, en annexe des mesures de constat, la liste des événements sonores ferroviaires qui ont pu être détectés avec, a minima, les caractéristiques suivantes : horodatage, $L_{Aeq,1s,max}$, SEL_A, T_{evt}, complétée si cela est disponible par le type de train, sa vitesse, la voie de circulation, voire d'autres paramètres (indicateurs en dB(C) et caractéristiques spécifiques le cas échéant) .

Bien que cela ne soit pas en lien direct avec l'expérimentation conduite en phase 1 de l'arrêté du 29 septembre 2022, **Bruitparif soutient la position de l'Autorité Environnementale** qui appelle à renforcer la réglementation nationale dans un sens plus protecteur de la santé humaine. Concernant le bruit ferroviaire, ce renforcement pourrait notamment passer par une actualisation des seuils définissant un Point Noir Bruit ferroviaire en **supprimant le bonus ferroviaire de 3 dB**, qui ne paraît pas justifié compte tenu des éléments de connaissances scientifiques sur les effets sanitaires du bruit des transports qui ont été publiés par l'OMS dans son rapport de 2018.



OBSERVATOIRE DE L'ENVIRONNEMENT SONORE

Note de positionnement Acoucité

Les résultats de la phase 1 de l'expérimentation montrent :

- Une forte corrélation entre certains indicateurs, ce qui ouvre la voie à une rationalisation de leur nombre.
- Des défis techniques pour détecter et discriminer les bruits ferroviaires par rapport aux autres sources sonores (trafic routier, activités humaines).

Le positionnement d'Acoucité repose sur les principes directeurs suivants :

Réduction du nombre d'indicateurs

L'analyse des corrélations entre indicateurs révèle que plusieurs d'entre eux fournissent des informations redondantes. Une sélection restreinte d'indicateurs permettrait de faciliter l'interprétation des résultats et d'améliorer l'efficacité des analyses tout en conservant la robustesse des évaluations.

Lisibilité et compréhension par le grand public

L'information fournie doit être accessible aux non-spécialistes, en privilégiant des indicateurs explicites et facilement interprétables.

La communication des résultats doit être adaptée aux attentes du public en matière de transparence et de clarté.

Des enquêtes de perception pourraient fournir des informations dans ce sens et permettraient d'identifier les indicateurs les plus pertinents.

Des points de vigilance sont également à prendre en compte :

Caractère calculable des indicateurs : Les indicateurs doivent être techniquement mesurables et exploitables dans des conditions de terrain variées, sans exiger des dispositifs trop complexes ou coûteux. Ils doivent également pouvoir être calculés dans le cadre des modélisations (cartes de bruit stratégiques, études d'impact...)

Cohérence avec les réglementations nationales et internationales : Toute évolution des indicateurs doit s'inscrire dans un cadre réglementaire cohérent avec les normes existantes (nationales et européennes), notamment pour assurer la comparabilité des données et leur prise en compte dans les politiques publiques.

FRANCE NATURE ENVIRONNEMENT

Note de positionnement FNE

Expérimentations suite à l'arrêté du 29 septembre 2022
« Pics de bruit ferroviaires »
Synthèse d'étape des résultats de la phase 1

Contexte

Le bruit des transports, élément essentiel de la pollution sonore, est, comme la pollution atmosphérique, un enjeu important de santé publique. Pour ne citer qu'un exemple, dans son étude de février 2019, BRUITPARIF indique que dans la zone dense de la région Île-de-France 51 000 habitants subissent, du fait du bruit ferré, une pollution sonore dépassant les limites réglementaires. Limites elles-mêmes de 15 à 21 dB supérieures aux recommandations de l'OMS. Et, dans les neuf communes les plus concernées, la perte de vie en bonne santé (DALY) y atteint entre 10 et 14 mois, exclusivement du fait du bruit ferré.

Les autorités en sont bien conscientes comme en atteste, par exemple, le questionnaire que nous a adressé la mission d'information en cours du Sénat *relative aux nuisances sonores causées par les transports*. Nos réponses y soulignent que les nuisances ne sont pas suffisamment prises en compte, que la réglementation n'est pas suffisamment protectrice, et qu'en conséquence, plusieurs projets récents ont provoqué des nuisances considérables, *pics de bruit* et *vibrations*. En continuant à procéder ainsi, avec une vue de court terme, le risque est grand que les citoyens empêchent par tous les moyens tout nouveau projet de ligne, tout projet de réseau express ferroviaire....

Positionnement

L'article 90 de la loi LOM constitue un début de réponse à cette situation non satisfaisante. Dans un certain nombre de cas, qu'il faut probablement mieux identifier et définir, l'aspect événementiel du bruit constitue un élément essentiel de la gêne sonore telle qu'elle est vécue par le riverain. Et les moyennes annuelles d'énergie sonore, que constituent en fait les indices réglementaires actuels, ne mesurent que très imparfaitement le phénomène.

On pourrait même avancer que les seuils très bas de Lden et Ln recommandés par l'OMS sont une façon détournée de prendre en compte cet état de fait.

Afin de mieux dimensionner le déploiement des infrastructures ferroviaires, ainsi que leur augmentation des capacités de service, il nous paraît indispensable d'afficher clairement le niveau de pollution sonore qu'il est souhaitable de ne pas dépasser, ce que ne fait pas aujourd'hui la réglementation existante. Ceci afin que les gestionnaires et constructeurs d'infrastructures de bonne foi aient clairement conscience du niveau à atteindre, même si, évidemment nos associations ont bien conscience que la marche à franchir est passablement haute !

Pour cet affichage l'utilisation d'un indice événementiel est nécessaire dans un certain nombre de conditions de trafic bien définies. Indice tenant compte de l'ensemble des paramètres impliqués c'est-à-dire de l'intensité des événements (et éventuellement de fréquences ou tonalités particulières), de leur nombre, de leur durée, et de l'intervalle de temps entre lesdits événements. Tous les pics de bruit ne sont pas également nuisant !

Enfin, notons au passage que les indices du type NAX ne correspondent pas à cette définition. Ils présentent, comme les moyennes énergétiques, un biais rédhibitoire pour nos associations :

- Avec les moyennes énergétiques baisser le niveau sonore de 3dB permet de doubler le nombre de passages sans augmenter ladite moyenne.
- Pour les indices NAX un choix judicieux du nombre, du niveau de bruit dépassé, ou encore de la durée sur laquelle on totalise les dépassements, permet d'ajuster judicieusement le résultat à un objectif que l'on souhaite obtenir. Exemples nombreux dans le cadre du bruit aérien.

C. Carsac 25 mars 2025