



**Station de mesure du bruit autour de
l'aérodrome de
Saint Cyr L'Ecole (78)**

Commune de Fontenay le Fleury (78)
Bilan mesures été 2012

5 juin 2012 – 6 août 2012

Sommaire

1. Introduction	1
2. Éléments préliminaires.....	2
2.1. Trajectoires nominales.....	2
2.2. Réglementation spécifique.....	3
2.3. Indicateurs acoustiques	5
2.4. Valeurs de référence en matière de bruit du trafic aérien	11
3. Description de la campagne de mesure.....	12
3.1. Période de mesure	12
3.2. Matériel.....	12
3.3. Contraintes d'implantation.....	13
3.4. Site de mesure	14
3.5. Méthode de mesure.....	15
3.6. Méthodes d'analyse.....	15
4. Résultats.....	17
4.1. Représentation des résultats sous forme de « boîtes à moustaches » ...	18
4.2. Résultats concernant les indicateurs énergétiques	18
4.3. Résultats concernant les indicateurs événementiels.....	22
4.4. Variation du bruit en fonction des heures et des types de jours.....	26
5. Conclusion.....	28

1. Introduction

Bruitparif a pu constater un intérêt important des riverains d'aérodromes pour la réalisation de campagnes de mesure permettant de caractériser le bruit autour des aérodromes franciliens. Des études ponctuelles ont déjà été effectuées dans ce sens par l'Observatoire du bruit en Ile-de-France. Néanmoins, pour répondre plus largement à cette attente, Bruitparif a mis en place un programme pluriannuel de documentation du bruit autour des aérodromes franciliens.

Dans ce cadre Bruitparif a installé du 5 juin au 7 août 2012 une station de mesure du bruit sur la commune de Fontenay-le-Fleury dans les Yvelines (78) afin d'y documenter les niveaux de bruit générés par le trafic aérien principalement issu de l'aérodrome de Saint-Cyr.

Le secteur documenté se trouve au sein d'un parc immobilier, le Parc Montaigne, de plus d'une cinquantaine de bâtiments d'habitation. Les bâtiments situés au nord-est sont proches de l'extrémité ouest de la piste de l'aérodrome de Saint-Cyr l'École et sont donc susceptibles d'être exposés au bruit des survols d'aéronefs en provenance ou à destination de cet aérodrome.

Les mesures ont été réalisées en période printanière et estivale, périodes jugées plus représentatives en termes de nuisances sonores pour les riverains. Ce souci de représentativité conduit également à privilégier :

- la mise en œuvre de mesures longue durée (2 mois), permettant de s'affranchir des aléas d'une mesure de 24 heures,
- le recours à du matériel de mesure adapté à la documentation du bruit aérien.

Préalablement à la présentation des résultats, une première partie présente quelques éléments utiles à la bonne compréhension de ce rapport : réglementation, définitions des indicateurs acoustiques utilisés et des valeurs de référence associées.

La deuxième partie propose un descriptif de la campagne de mesure incluant les méthodes de mesure et d'analyse mises en œuvre.

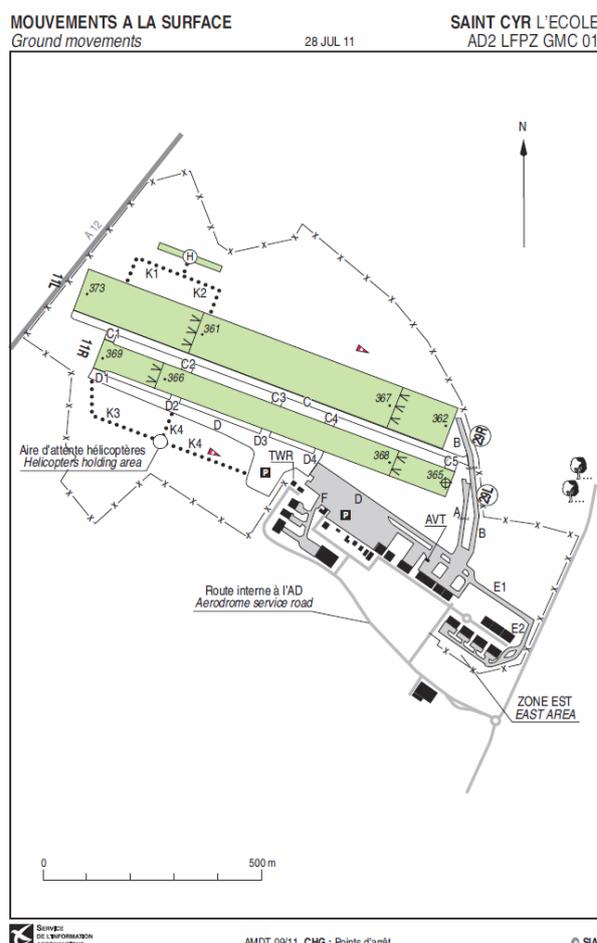
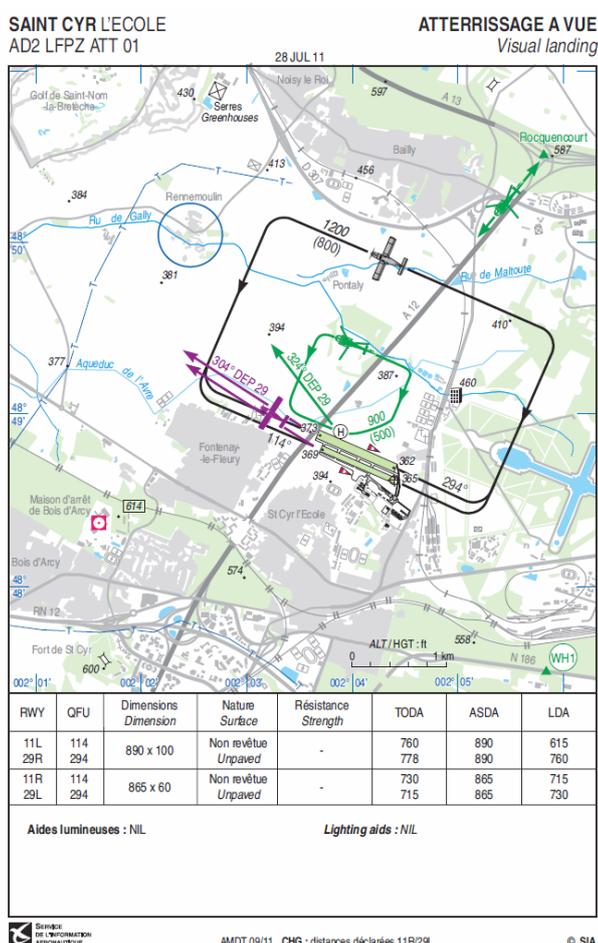
Enfin la troisième partie présente une synthèse des résultats.

2. Eléments préliminaires

Préalablement à la présentation des résultats, ce chapitre présente les éléments spécifiques à l'activité de l'aérodrome de Saint-Cyr l'Ecole. Le §2.3 présente quelques définitions indispensables à la bonne compréhension de ce rapport et les indicateurs acoustiques retenus pour cette étude. Le §2.4 présente les valeurs de référence spécifiques au trafic aérien en matière de bruit dans l'environnement.

2.1. Trajectoires nominales

Les trajectoires nominales des aéronefs (avions et hélicoptères) sont représentées dans les figures ci-dessous (document du 28 juillet 2011).



Cette figure permet notamment de visualiser les différences de trajectoires entre les avions (en noir sur la figure de gauche) et les hélicoptères (en vert sur la même figure). La figure de gauche présente une vue de la plateforme et notamment des pistes « avions » et « hélicoptères ».

2.2. Réglementation spécifique

2.2.1. Arrêté du 20 octobre 2010

Le décret n°2010-1226 du 20 octobre 2010 portant limitation du trafic des hélicoptères dans les zones à forte densité de population et entré en vigueur au 1^{er} janvier 2011 s'applique à l'aérodrome de Saint-Cyr l'Ecole.

Il prévoit certaines restrictions de mouvements dans un périmètre défini autour de l'aérodrome.

2.2.2. PEB

Le PEB (Plan d'Exposition au Bruit) prévoit les zones exposées au bruit à moyen et long terme. Ce plan anticipe les prévisions de développement de l'activité aérienne, l'extension des infrastructures et les évolutions des procédures de circulation aérienne (scénarii d'évolution de trafic et de composition de flotte à court, moyen et long terme).

Le PEB délimite 4 zones de bruit classées de A à D, la zone A étant la plus fortement impactée par le bruit des aéronefs. Le PEB est un instrument juridique qui limite le droit à construire dans les zones de bruit autour des aérodromes et impose une isolation acoustique renforcée pour les constructions autorisées dans les zones de bruit. Il a pour objectif de limiter l'urbanisation et de ne pas augmenter les populations soumises aux nuisances de la plate-forme aéroportuaire.

L'aérodrome de Saint Cyr l'Ecole dispose d'un PEB qui a été établi en 1985 (référéncé LA.SC.BR.7 cf. figure ci-après). Les zones de bruit ont été calculées en utilisant l'indice psophique (unité: PNdB: Perceived Noise Level), indicateur très utilisé il y quelques années pour caractériser l'exposition au bruit des riverains d'aéroports mais qui présentait l'inconvénient d'être relativement complexe à calculer et difficile à expliquer.

Cet indicateur a donc été progressivement supplanté par d'autres indicateurs comme l'indicateur harmonisé à l'échelle européenne, le Lden qui est un indicateur intégré sur la journée avec surpondération des niveaux de bruit de soirée et de nuit pour tenir compte de la sensibilité accrue des riverains au bruit sur ces périodes.

Le PEB de l'aérodrome de Saint Cyr l'Ecole n'a pas été réactualisé depuis 1985 ni recalculé avec ce nouvel indicateur.



PEB de l'aérodrome de Saint Cyr l'Ecole (1985), source :

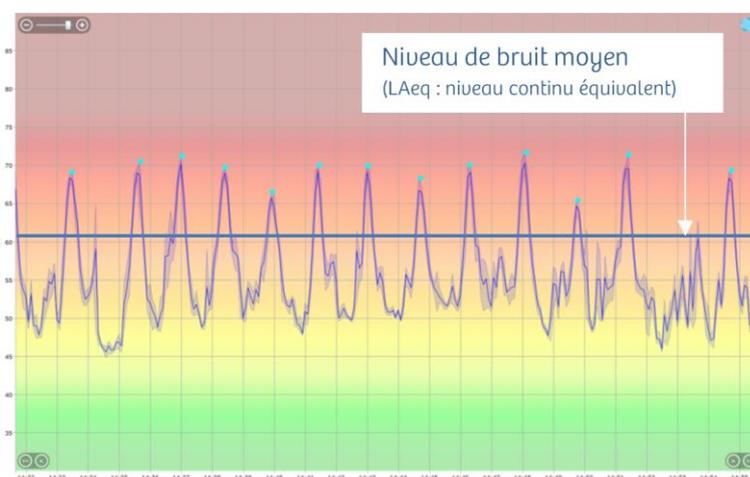
http://www.versailles.fr/uploads/media/2_Plan_d_exposition_au_bruit_concernant_l_a%C3%A9rodrome_de_St%E2%80%A6.pdf

2.3. Indicateurs acoustiques

Le bruit varie à chaque instant, on utilise donc différents indicateurs pour représenter les caractéristiques du bruit sur une période donnée. On distingue ainsi les indicateurs énergétiques qui correspondent à des indicateurs représentant la moyenne énergétique des bruits sur une période donnée et les indicateurs événementiels qui s'intéressent à des événements particuliers survenus au cours de la période (pics de bruit...).

D'autre part, un niveau sonore peut être le résultat de plusieurs sources de bruit. On peut alors distinguer les indicateurs globaux, qui traduisent le bruit dans sa totalité, des indicateurs partiels ou particuliers qui ne prennent en compte que le bruit d'une seule source parmi le bruit global.

La figure ci-contre présente un exemple de variations du niveau sonore exprimé en dB(A) et mesuré sur un site survolé par des avions. Le bruit du trafic aérien se caractérise ainsi par une succession de pics de bruits (événements qui émergent nettement par rapport au bruit de fond) liés aux survols des avions. Contrairement au bruit du trafic routier, le bruit du trafic aérien présente un caractère fortement discontinu.



Exemple de pics de bruit de type « aéronef » et évolution temporelle du niveau de bruit et niveau continu équivalent.

2.3.1. Niveau moyen instantané LAeq,1s

Les stations de mesure enregistrent les fluctuations continues du bruit et les caractérisent par un niveau sonore équivalent à chaque seconde, le LAeq,1s. Il représente la donnée élémentaire à partir de laquelle toutes les analyses sont réalisées.

$$LA_{eq,1s} = 10 \log_{10} \left(\int \frac{P^2(t)}{P_0^2} dt \right)$$

où : $P(t)$ est la pression acoustique instantanée et P_0 la pression de référence égale au seuil d'audibilité soit $2 \cdot 10^{-5}$ Pa.

2.3.2. Indicateurs énergétiques

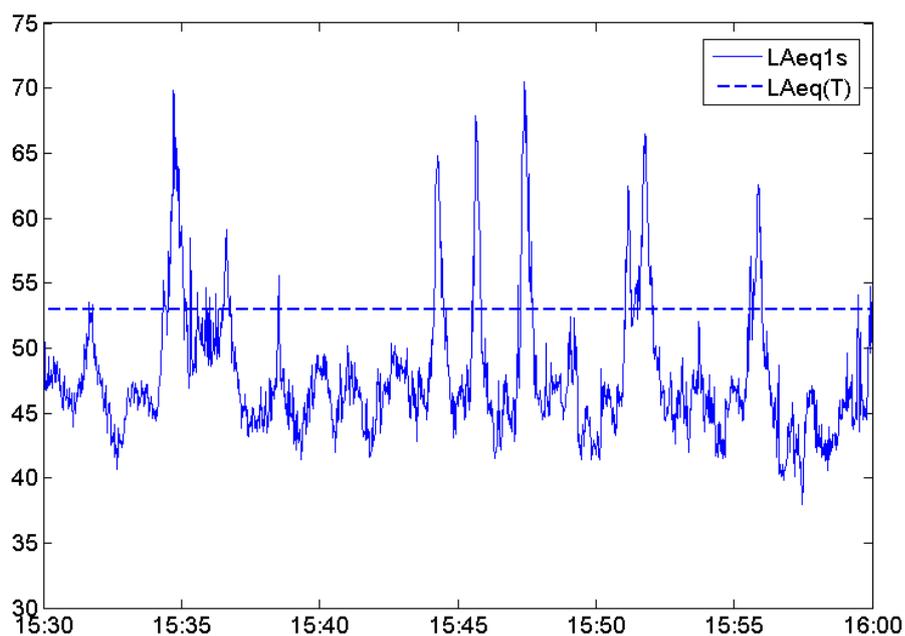
Différents indicateurs énergétiques existent. Leurs différences reposent essentiellement sur la définition de la durée sur laquelle ils sont calculés et sur le fait que l'on souhaite documenter le bruit global (toutes sources confondues) ou exclusivement une composante particulière, comme dans notre cas le bruit particulier dû aux aéronefs ou le bruit résiduel (composante du bruit global en l'absence du bruit dû aux aéronefs). On peut ainsi calculer différents indicateurs : LAeq,T, LAeq partiel, LAeq résiduel, LAeq particulier et la durée associée d'apparition de la source particulière, Lday, Levening, Lnight et Lden.

2.3.2.1. Niveau continu équivalent : LAeq,T

L'indicateur énergétique le plus connu, car utilisé largement dans la réglementation française, est le LAeq,T. Il représente le niveau de bruit constant qui aurait été produit avec la même énergie que le bruit existant réellement pendant la période T considérée. Il exprime la moyenne de l'énergie reçue au cours de la période T (niveau sonore moyen d'un point de vue énergétique). La figure ci-dessous représente, pour un site donné, l'évolution temporelle du niveau de bruit ainsi que le niveau continu équivalent pour l'ensemble de la période considérée.

Les termes « bruit ambiant » ou « bruit global » utilisés dans ce rapport font référence à l'indicateur LAeq,T estimé sur l'ensemble des sources de bruit en présence pendant une période T.

$$LAeq,T = 10 \log \left(\frac{1}{T} \sum_T 10^{LAeq,1s/10} \right)$$



Exemple d'évolution temporelle du LAeq1s et niveau moyen équivalent LAeq,15h30-16h.

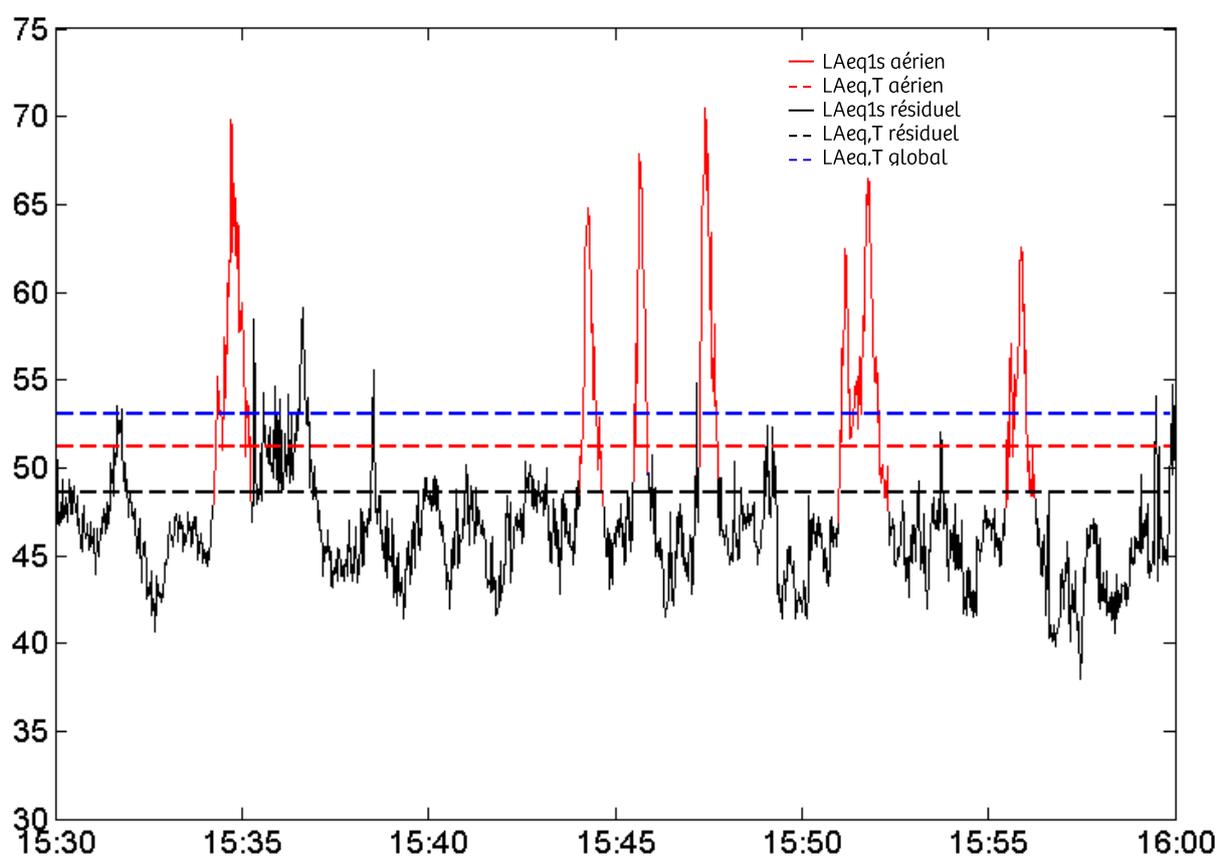
2.3.2.2. LAeq partiel

On peut également évaluer la contribution d'une source de bruit au bruit global sur une période à travers l'utilisation de l'indicateur énergétique LAeq,T partiel.

L'indicateur LAeq,T partiel aérien exprime la moyenne de l'énergie acoustique due aux aéronefs pendant la période T.

De la même manière, on peut calculer l'indicateur LAeq,T résiduel, qui exprime la moyenne du reste de l'énergie acoustique sur la période T.

La figure suivante présente un exemple des composantes du bruit aérien et du bruit résiduel extraites du bruit global d'un site impacté par le trafic des aéronefs avec les niveaux continus équivalents associés sur la période T considérée.



Exemple d'évolution temporelle du LAeq,1s aérien et résiduel, niveaux continus équivalents associés LAeq,15h30-16h aérien, LAeq,15h30-16h résiduel et LAeq,15h30-16h global.

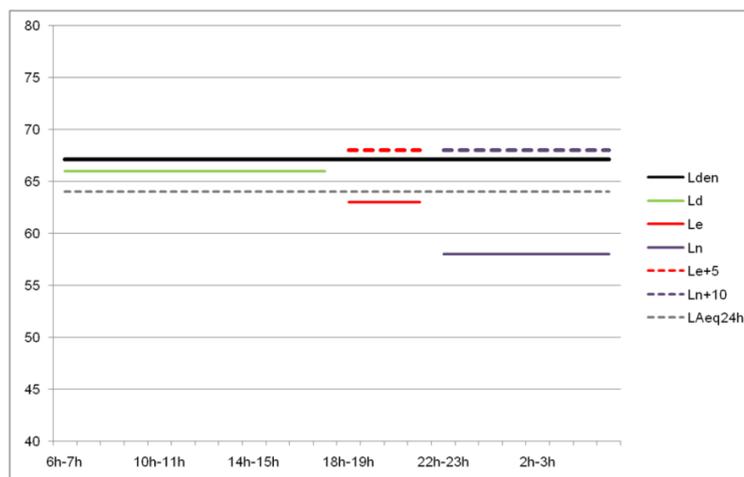
2.3.2.3. Lday, Levening, Lnight et Lden

Les textes réglementaires prescrivent de calculer l'indicateur LAeq,T pour les trois périodes suivantes :

- 6h-18h : LAeq jour (aussi appelé Lday),
- 18h-22 h : LAeq soirée (aussi appelé Levening),
- 22h-6h : LAeq nuit (aussi appelé Lnight ou Ln).

On parle également de LAeq diurne pour la période 6h-22h. L'indicateur Lden correspond à la moyenne pondérée sur une période de 24 heures des niveaux moyens Lday, Levening et Lnight. Un terme correctif est appliqué aux niveaux Levening (+5 dB(A)) et Lnight (+10 dB(A)) afin de tenir compte de la sensibilité renforcée au bruit au cours de ces deux périodes.

La figure ci-contre propose une illustration de calcul de l'indicateur Lden à partir des valeurs de LAeq sur les trois périodes (jour, soir, nuit).



Exemple de calcul de Lden.

L'indicateur Lden se calcule de la façon suivante :

$$Lden = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{24} \left(12 * 10^{\frac{LAeq(6h-18h)}{10}} + 4 * 10^{\frac{LAeq(18h-22h)+5}{10}} + 8 * 10^{\frac{LAeq(22h-6h)+10}{10}} \right) \right)$$

2.3.2.4. Indicateurs énergétiques retenus dans le cadre de cette étude

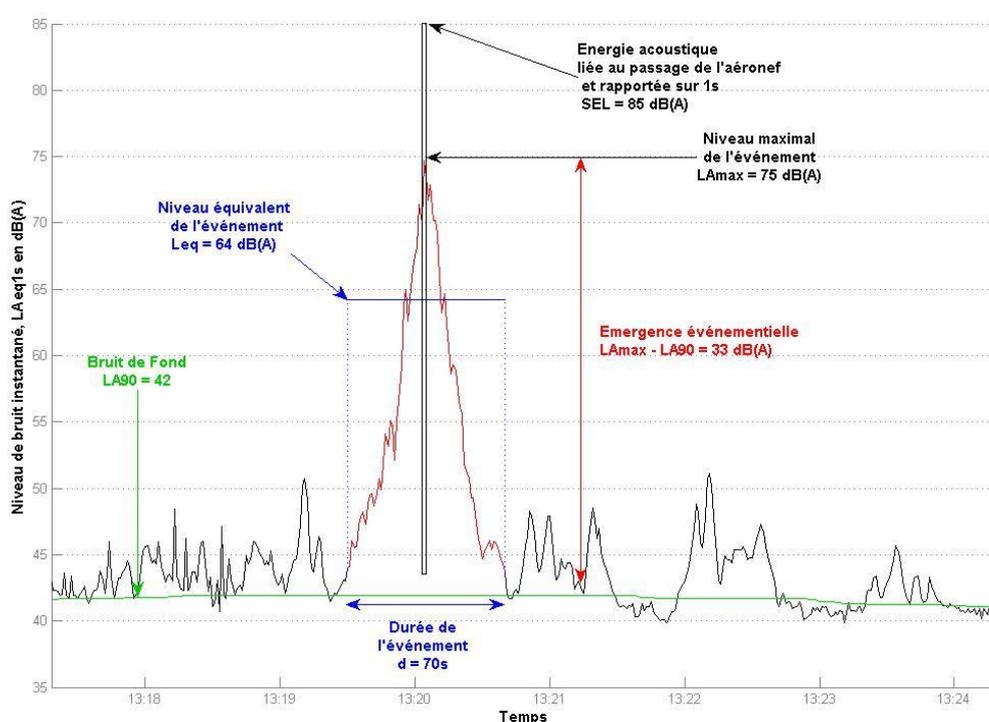
Les indicateurs énergétiques retenus dans le cadre de cette étude sont les suivants :

- LAeq particulier aérien et durée d'exposition quotidienne associée,
- LAeq partiel aérien,
- Lden aérien (seul indicateur pour lequel on dispose d'une valeur limite relative au bruit aérien).

2.3.3. Indicateurs événementiels

Si les indicateurs énergétiques s'avèrent bien adaptés aux sources de bruit à caractère continu tel que le bruit du trafic routier par exemple, ils ne suffisent pas en revanche à retranscrire à eux seuls l'exposition de la population à des sources de bruit présentant un caractère événementiel tel que le trafic aérien. Aussi, il est nécessaire de recourir à l'utilisation complémentaire d'indicateurs événementiels qui s'intéressent aux caractéristiques des pics de bruit (L_{Amax} , émergence événementielle...).

Un pic de bruit correspond à une augmentation suivie d'une diminution rapide du niveau de bruit. Il traduit l'émergence d'un bruit particulier par rapport au bruit de fond. La figure ci-dessous permet de visualiser les différentes caractéristiques associées à un événement sonore. Différents indicateurs événementiels sont produits pour tenir compte de la spécificité des émergences de bruit lors des survols d'aéronefs.



Exemple de pic de bruit de type « aéronef » et de calcul d'indicateurs acoustiques événementiels adaptés à la documentation du bruit des aéronefs.

Les principaux indicateurs événementiels sont détaillés ci-après.

2.3.3.1. LA_{max}

L'indicateur LA_{max} correspond au niveau maximal de bruit atteint lors d'un événement (exemple ici : survol d'aéronef). Il s'agit du niveau atteint au cours de la seconde la plus bruyante de l'événement et il est noté $LA_{max,1s}$.

2.3.3.2. Durée de l'événement sonore

La durée de l'événement sonore correspond à la période de temps au cours de laquelle le bruit ambiant est dominé par l'apparition de l'événement sonore.

2.3.3.3. Emergence événementielle

Il s'agit de la différence entre le niveau maximal atteint au passage de l'aéronef ($L_{Amax,1s}$) et le bruit de fond résiduel avant l'événement. Le bruit de fond peut être appréhendé à travers l'indicateur $LA_{90,10 \text{ min}}^1$. L'émergence événementielle associée à un survol d'aéronef est donc calculée de la manière suivante : $L_{Amax,1s} - LA_{90,10 \text{ min}}$. Cette définition de l'émergence événementielle est issue des principes développés dans la norme ISO 20906 de décembre 2009 relative à la surveillance automatique du bruit des aéronefs au voisinage des aéroports. Un autre calcul de l'émergence événementielle a été proposé dans la norme NFS 31-190 de mars 2008 relative à la caractérisation des bruits d'aéronefs perçus dans l'environnement. Il s'agit du calcul suivant : $L_{Amax,5s} - LA_{50,5min}$. Ce mode de calcul produit des valeurs plus faibles pour l'émergence événementielle que le premier mode de calcul proposé. Aussi, Bruitparif est favorable à retenir le premier mode de calcul qui semble également plus universellement reconnu.

2.3.3.4. SEL

Le SEL correspond au niveau d'énergie acoustique pour chaque événement ramené sur 1 seconde. Cela permet de comparer l'impact acoustique de différents survols d'aéronefs.

La production de ces différents indicateurs événementiels permet, si on le souhaite, de produire des indicateurs agrégés sur des plages de temps en correspondance avec les périodes réglementaires ou des périodes pour lesquelles des besoins spécifiques d'information sont exprimées. Nous en présentons des exemples de ces indicateurs événementiels agrégés ci-après.

2.3.3.5. NA

L'indicateur NAseuil (NA pour Number Above) correspond au nombre d'événements de type « aéronef » dont le niveau $L_{Amax,1s}$ dépasse le seuil retenu. Des seuils à 62 et 65 dB(A) sont généralement utilisés. Ce type d'indicateur est considéré comme un indicateur de gêne associée au trafic aérien et est couramment utilisé en Australie. Il faut néanmoins noter que son application est essentiellement faite aux abords des grands aéroports.

L'ACNUSA a préconisé l'utilisation des indicateurs NA62 et NA65 journaliers dans son rapport d'activité 2005. Dans son rapport d'activité 2011, l'ACNUSA en rappelle l'intérêt :

« Si le NA ne peut, à lui seul, être une totale alternative au Lden, il s'impose comme un indicateur complémentaire essentiel. Il peut être avantageusement utilisé, comme l'avait déjà suggéré l'Autorité dans son rapport d'activité 2010, comme outil de communication et d'information.»

2.3.3.6. Indicateurs événementiels retenus dans le cadre de cette étude

Les indicateurs événementiels retenus dans le cadre de cette étude sont les suivants :

- distribution statistique des niveaux $L_{Amax,1s}$, SEL et émergence événementielle,
- Nombre d'événements acoustiques quotidiens dû au trafic aérien identifiés et validés (notés N),
- NA62 et NA65.

¹ $LA_{90,10min}$: Niveau de bruit dépassé pendant 90 % du temps au cours des 10 minutes précédant l'événement.

2.4. Valeurs de référence en matière de bruit du trafic aérien

2.4.1. Objectifs de qualité

Des valeurs guides relatives aux effets spécifiques du bruit sur la santé dans des environnements types ont été proposées par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS, 2000 et OMS, 2007). Selon l'OMS, des niveaux dépassant respectivement **50 et 55 dB(A) en LAeq évalué sur une période de 16 heures consécutives en journée** dans les zones résidentielles extérieures sont considérés comme provoquant une gêne modérée respectivement sérieuse. L'OMS recommande par ailleurs des niveaux de bruit bien inférieurs la nuit. Ainsi l'objectif de qualité pour les niveaux de bruit LAeq évalués sur une durée de 8 heures consécutives la nuit à l'extérieur des habitations est, selon l'OMS, de 30 dB(A) afin de prévenir tout effet sanitaire du bruit nocturne. Consciente que de telles valeurs sont difficilement atteignables en zone dense urbaine, l'OMS a fixé des valeurs cibles intermédiaires de 55 dB(A) puis de 40 dB(A) (cf. recommandations du rapport « Night noise guidelines » de 2007). Dans ses recommandations de 2000, l'OMS indiquait également que les niveaux de pointe en L_{Amax} enregistrés à l'intérieur des chambres à coucher ou des salles de repos des enfants, ne devraient pas dépasser 45 dB(A) pour un repos de qualité.

2.4.2. Valeurs limites

La directive européenne 2002/49/CE et sa transposition en droit français demande à ce que soient produites et publiées des cartes de bruit aux abords des grandes infrastructures et au sein des grandes agglomérations. Ces cartes sont destinées à permettre la réalisation d'un premier diagnostic sur lequel doit se baser l'établissement d'un Plan de Prévention du Bruit dans l'Environnement (PPBE). L'article 7 de la transposition en droit français de la directive européenne (Arrêté du 4 avril 2006) fixe des valeurs limites pour les différentes sources de bruit. **Pour le bruit lié au trafic aérien, la valeur limite est de 55 dB(A) selon l'indicateur Lden.**

2.4.3. Autres valeurs de référence

Le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France (CSHPF) a par ailleurs émis des préconisations dans son avis du 6 mai 2004 relatif à la protection de la santé des personnes exposées au bruit des avions. Il recommande ainsi :

- pour évaluer et gérer la gêne liée au bruit des infrastructures aéroportuaires, d'utiliser l'indice Lden et de ne pas dépasser, en façade des habitations, un niveau Lden de 60 dB(A), toutes sources confondues ;
- pour évaluer et gérer la perturbation du sommeil par le bruit des infrastructures aéroportuaires, d'introduire dans la réglementation un indice événementiel, le L_{Amax} (LAeq intégré sur 1 seconde) et de respecter pendant la période 22h-6h en façade des habitations, les critères suivants, correspondant aux recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) en prenant en compte un isolement de façade de 25 dB(A) :

- LAeq < 55 dB(A) (toutes sources confondues),
- moins de 10 événements sonores, toutes sources confondues, avec un L_{Amax} > 70 dB(A).

Depuis 2005, l'ACNUSA mentionne que les indicateurs NA62 et NA65 peuvent être révélateurs de situation d'exposition significative au bruit du trafic aérien pouvant justifier le droit à bénéficier des aides à l'insonorisation dans le cas où les valeurs de ces indicateurs dépassent de manière non occasionnelle les valeurs respectives de 200 (pour le NA62) ou 100 (pour le NA65).

3. Description de la campagne de mesure

3.1. Période de mesure

La campagne de mesure à proximité de l'aérodrome de Saint Cyr l'Ecole s'est déroulée du 5 juin au 7 août 2012.

3.2. Matériel

Il a été choisi d'utiliser une station RION NA37 dotée de fonctionnalités expertes d'identification des événements acoustiques, de détermination de la trajectoire de provenance du bruit (par l'intermédiaire d'une antenne acoustique composée de 4 capteurs) et de classification de la source de bruit en "aérien" ou "terrestre". L'analyse simultanée des signaux des 4 microphones permet de déterminer l'angle de provenance du bruit et donc de discriminer les événements acoustiques aériens des événements acoustiques terrestres, et ce, sans nécessiter obligatoirement le recours aux données de trajectographie mises à disposition par la DGAC. Ce point est particulièrement intéressant vis-à-vis du grand public ; il garantit la transparence et l'indépendance des données produites par le système de surveillance du bruit.



Station experte RION NA37

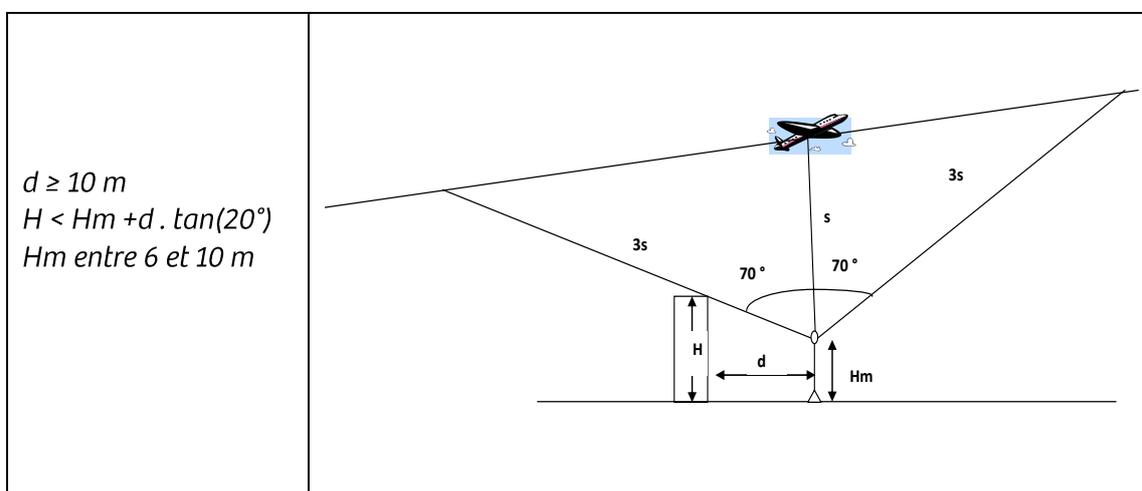
Les stations expertes sont également capables d'enregistrer en audionumérique les événements identifiés autorisant une réécoute *a posteriori* et garantissant ainsi une bonne traçabilité. Ce matériel dispose en outre d'excellentes performances sur le plan métrologique. Chaque unité de mesure dispose ainsi d'un certificat de conformité aux spécifications de classe 1 de la norme CEI 61672 sur les sonomètres, établi par le fabricant RION.

3.3. Contraintes d'implantation

La sélection d'un site pour l'installation d'une station de mesure experte doit répondre à plusieurs contraintes d'implantation adaptées aux objectifs de surveillance (norme ISO 20906 : 2009). Le site potentiel doit :

- être représentatif de la situation d'exposition au bruit des populations survolées. Dans ce sens, les sites au sein ou à proximité de zones d'habitation sont privilégiés ;
- présenter un niveau de bruit de fond permettant de réduire le plus possible l'effet de masquage des bruits des survols d'aéronefs par des autres événements sonores (émergences événementielles aéronefs supérieures ou égales idéalement à 10 dB(A)) ;
- minimiser les perturbations de la propagation de l'énergie acoustique entre la source aérienne et le microphone. Ces précautions peuvent être prises en compte à travers le choix d'un terrain relativement plat, dégagé le plus possible de tout obstacle et ne présentant pas de caractéristiques réfléchissantes particulières ou d'absorption acoustique excessive.

La suivante illustre les contraintes géométriques d'implantation sur site.



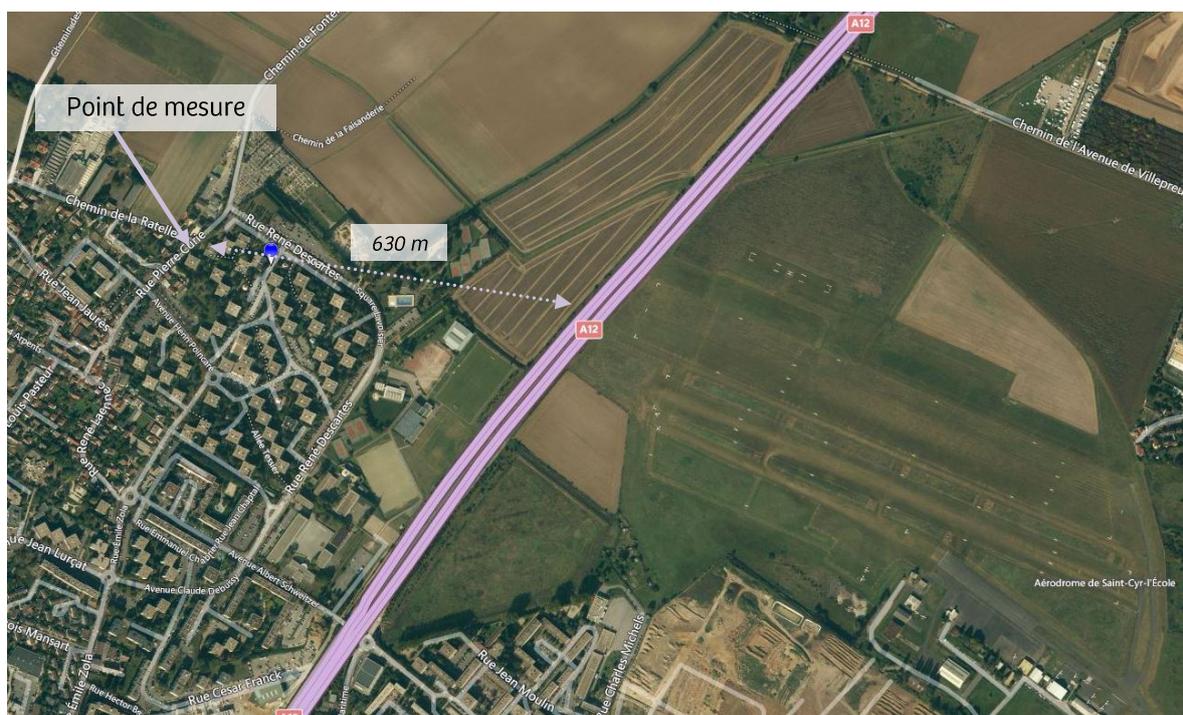
Contraintes géométriques d'implantation sur site.

3.4. Site de mesure

La station de mesure a été installée en toiture du bâtiment situé au 1 square Papin. Il s'agit d'un bâtiment de 3 étages. Le microphone a été positionné à 5 mètres de hauteur par rapport à la toiture terrasse soit environ 16 mètres de hauteur par rapport au sol.

Le point de mesure se trouve à environ 630 mètres de distance par rapport au bout de piste de l'aérodrome.

Vue aérienne du site de mesure



Vues de la station de mesure

3.5.Méthode de mesure

Les mesures ont été effectuées en respectant, autant que possible, les prescriptions normatives recommandées pour la réalisation de mesures du bruit dans l'environnement. Ceci correspond, dans le cadre de cette étude, à la considération des normes et protocoles de mesures suivants :

- NF S 31-010 : Caractérisation et mesure des bruits de l'environnement (décembre 1996),
- NF S 31-110 : Acoustique - Caractérisation et mesure des bruits de l'environnement - Grandeurs fondamentales et méthodes générales d'évaluation,
- NF S 31-190 : Caractérisation des bruits d'aéronefs perçus dans l'environnement (mars 2008),
- ISO 20906 : Surveillance automatique du bruit des aéronefs au voisinage des aéroports (décembre 2009).

3.6. Méthodes d'analyse

La détection des événements acoustiques sur la période de mesure est effectuée selon une procédure développée au sein de Bruitparif, en adéquation avec les préconisations des normes NF S31-190 et ISO 20906 (2009). Elle est basée sur plusieurs critères, comme par exemple la durée de l'événement acoustique ou bien l'émergence événementielle.

3.6.1. Détection des événements sonores de type aéronefs

La station experte NA37 permet une détection automatique des événements de type aéronefs. La procédure comporte deux étapes.

- dans un premier temps, une détection automatique de l'ensemble des événements acoustiques ayant émergé significativement du bruit de fond,
- dans un second temps la discrimination des événements en 2 classes (bruit aérien ou terrestre) selon l'angle prédominant de provenance du bruit mesuré par l'antenne acoustique au cours de l'événement.

Plusieurs paramètres de détection sont ajustés en fonction du site, nous en énumérons ci-après les principaux :

- angle de discrimination entre un événement terrestre et aérien (ajusté à 5°),
- durée minimale d'un événement (paramètre ajusté à 5 secondes),
- niveau LAmax minimal de détection d'un événement (ajusté ici à LAmax = 50 dB(A)),
- seuil d'émergence d'un événement par rapport au bruit de fond estimé par la valeur LA90, 10min précédant l'apparition de l'événement, ajusté ici entre à 10 dB(A)².

L'intégralité des événements acoustiques terrestres ou aériens est répertoriée dans une base de données regroupant l'ensemble des caractéristiques acoustiques de chaque événement identifié (date, durée, LAmax, bruit de fond précédant l'événement, émergence événementielle, SEL, classe d'affectation, angle de provenance de la source de bruit ...). A chaque événement détecté, un enregistrement audionumérique est associé. L'exploitation de ces enregistrements permet une validation *a posteriori* de l'intégralité des événements attribués par la station experte au trafic aérien.

² A partir d'une certaine distance par rapport au site de mesure, le bruit d'un aéronef devient trop faible pour émerger significativement du bruit de fond du secteur. Cela dépend bien évidemment du type d'aéronef, de sa motorisation, de son régime moteur, de l'angle du survol ainsi que des conditions météorologiques du moment. Les résultats présentés dans ce rapport concernant les indicateurs acoustiques associés au bruit du trafic aérien correspondent aux aéronefs qui ont généré un impact acoustique suffisant pour être détectés sur le site (émergence événementielle minimale de l'ordre de 10 dB(A) par rapport au bruit de fond).

3.6.2. Validation des données

Préalablement à l'exploitation des mesures, certaines précautions doivent être prises en compte. Il convient de s'assurer de la validité des données, en particulier des éventuels biais pouvant résulter de la prise en compte de données non représentatives. Les résultats de mesure peuvent être perturbés par un manque ou un nombre de données insuffisant à une analyse statistique, des conditions météorologiques inadaptées, une qualité insuffisante de discrimination des événements aériens, la présence de sources de bruit inhabituelles masquant la source de bruit étudiée, comme la présence de travaux à proximité de la station de mesure par exemple.

Il convient donc de s'assurer de la qualité de la base de données regroupant l'ensemble des caractéristiques acoustiques associées au trafic aérien, base de données sur laquelle reposera l'intégralité des calculs des indicateurs acoustiques étudiés. Dans ce sens, une attention particulière a été portée à l'expertise des événements sonores de type aéronefs.

Pour répondre précisément à l'ensemble de ces questions plusieurs analyses ont été effectuées. Ce chapitre en présente les résultats.

3.6.2.1. Taux de disponibilité des données

La totalité des données est disponible pour la période d'analyse.

3.6.2.2. Validation des événements sonores de type aéronefs

L'intégralité des événements ayant émergé significativement du bruit de fond a été expertisée par une réécoute *a posteriori* en laboratoire des enregistrements audionumériques (cf. figure ci-contre).

Cette démarche permet de garantir que la base de données « événements aériens » regroupe exclusivement l'ensemble des événements acoustiques dû au bruit du trafic aérien identifiables à l'oreille humaine. Cette démarche permet *in fine* de s'affranchir également des conditions météorologiques ayant pu impacter significativement la mesure. Si tel était le cas, alors l'expertise humaine aurait écarté l'événement sonore de la base de données « événements aériens ».



Validation des événements acoustiques au Laboratoire de mesures de Bruitparif.

Les événements sonores pris en compte dans les résultats qui suivent sont ceux imputés aux aéronefs ayant impacté le site de mesure significativement. Les avions de ligne ne sont pas pris en compte dans le calcul des différents indicateurs acoustiques.

4. Résultats

Cette partie présente les résultats des indicateurs obtenus. Le §4.1 propose un rappel quant au mode de représentation des résultats sous forme de « boîtes à moustaches » de Tukey. Cette forme de représentation a été retenue afin de visualiser la distribution des niveaux obtenus au cours de la mesure. Les §4.2 et §4.3 présentent ensuite respectivement les résultats concernant les indicateurs énergétiques et événementiels. Le §4.4 propose des analyses particulières.

Les indicateurs énergétiques ont été produits pour les 3 périodes de la journée 6h-18h (jour), 18h-22h (soirée) et 22h-6h (nuit). Compte tenu de la spécificité des conditions de fonctionnement de l'aérodrome et des activités des riverains en fonction des jours et heures de la semaine, les résultats ont également été déclinés au pas de temps horaire et une distinction a été apportée entre les types de jours : jours ouvrables, samedis et dimanches (cf. §4.4).

Ces informations sont également directement consultables au sein de la plate-forme de diffusion des données du réseau RUMEUR (réseau de surveillance du bruit dans l'environnement de Bruitparif) accessible librement au public sur le site internet de Bruitparif (www.bruitparif.fr). La figure ci-dessous propose un extrait de l'évolution temporelle du niveau sonore sur la totalité de la période de mesure.



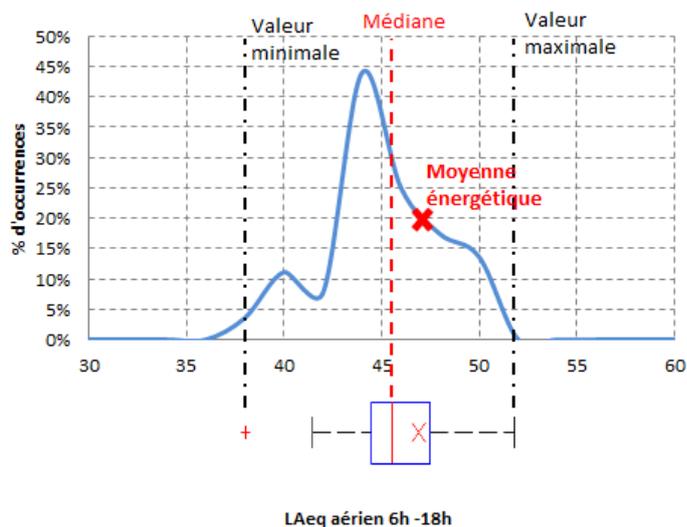
Evolution temporelle du niveau sonore (toutes sources sonores confondues) en dB(A) sur la totalité de la période de mesure

4.1.Représentation des résultats sous forme de « boîtes à moustaches »

La boîte à moustaches de Tukey constitue un moyen simple et rapide de visualiser le profil d'une série de données statistique quantitative.

Les croix rouges « X » correspondent à la moyenne énergétique des valeurs LAeq partiel aérien,6h-18h. L'étendue des « boîtes à moustaches » est représentative de la dispersion des valeurs.

La croix rouge « + » correspond à une valeur statistiquement atypique.



Distribution statistique de l'indicateur LAeq partiel aérien,6h-18h ; graphique du bas : représentation sous forme de boîte à moustache de Tukey.

4.2. Résultats concernant les indicateurs énergétiques

Ce chapitre est consacré à la présentation des résultats concernant les indicateurs énergétiques :

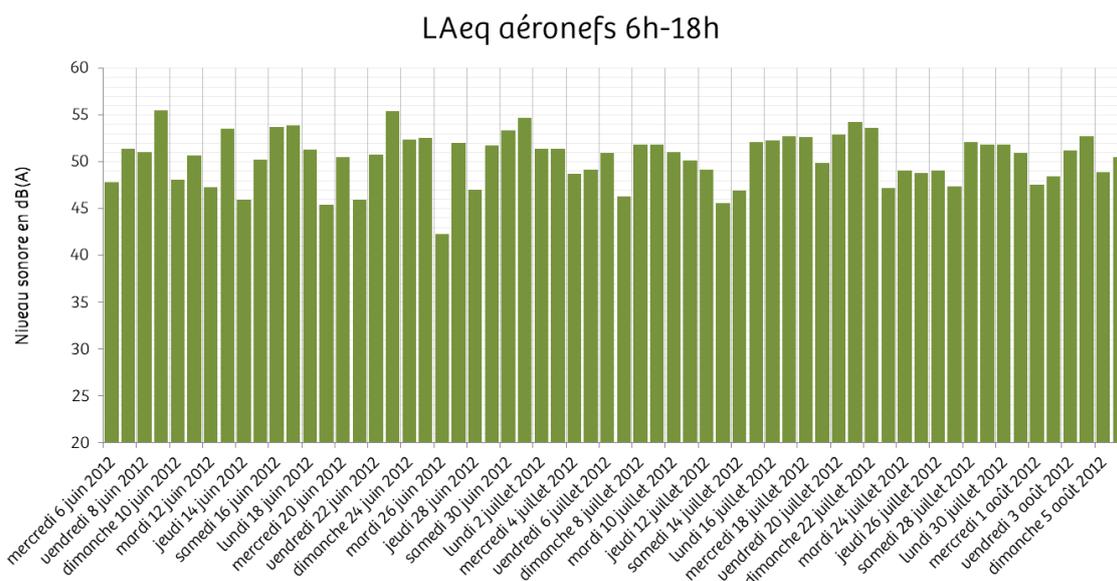
- LAeq partiel aérien par périodes réglementaires;
- Indicateurs moyens journaliers pondérés Lden ;

4.2.1. Niveau sonore du bruit dû au trafic aérien (LAeq partiel)

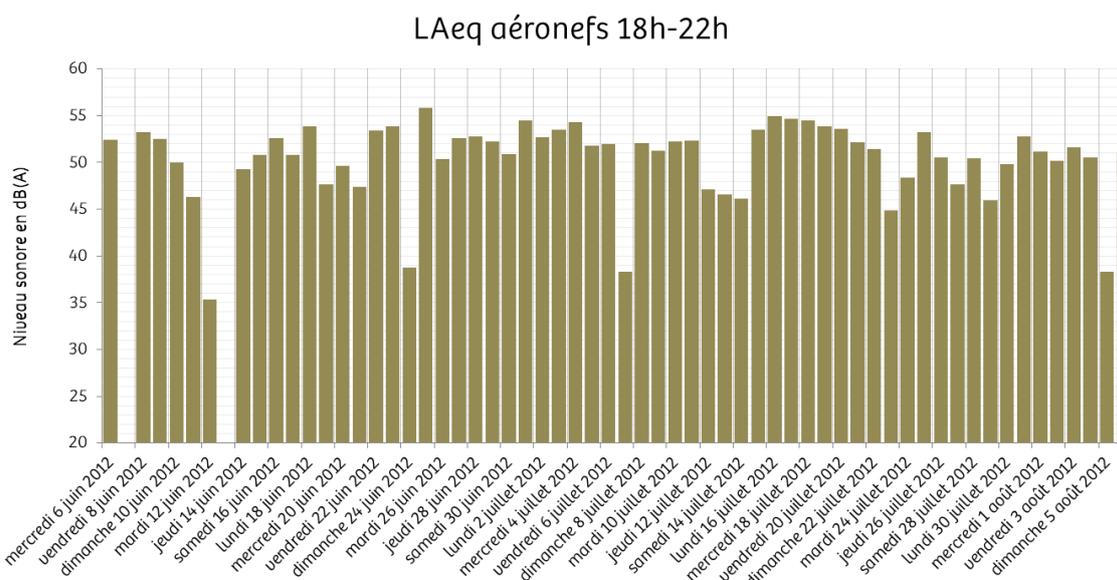
Les indicateurs LAeq partiels aériens permettent de tenir compte des deux informations précédentes (niveau de bruit en présence de la source aérienne et temps d'apparition de la source) et de hiérarchiser ainsi l'impact sonore du trafic aéronefs entre les différents sites.

Les figures suivantes présentent respectivement les résultats pour les indicateurs :

- LAeq partiel aérien, 6h-18h,
- LAeq partiel aérien, 18h-22h,
- LAeq partiel aérien, 22h-6h,
- Indicateur journalier moyen pondéré (indicateur calculé sur le modèle du Lden)

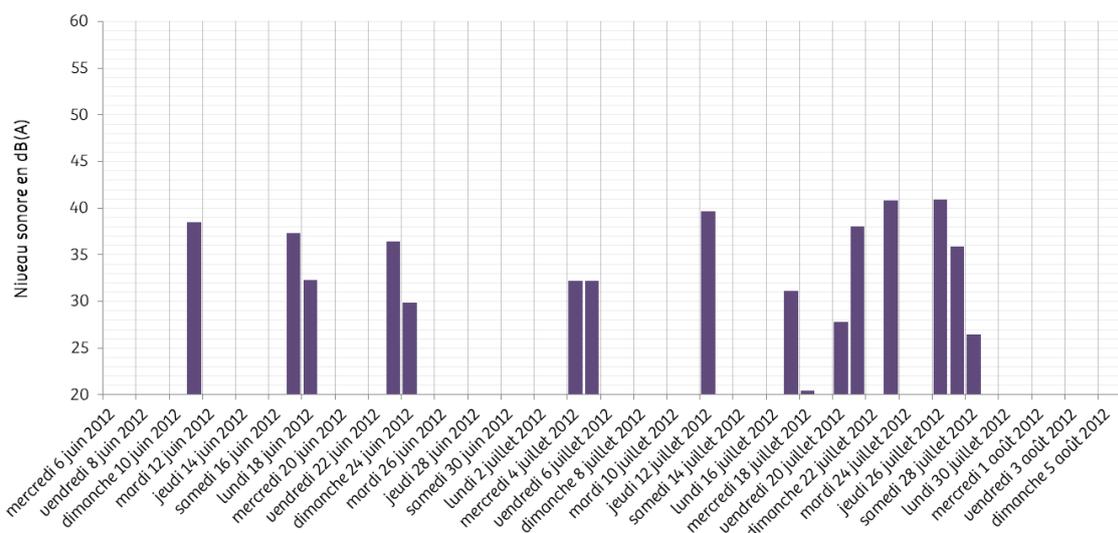


Les niveaux LAeq, aéronefs 6h-18h sont compris entre 42,3 et 55,5 dB(A).



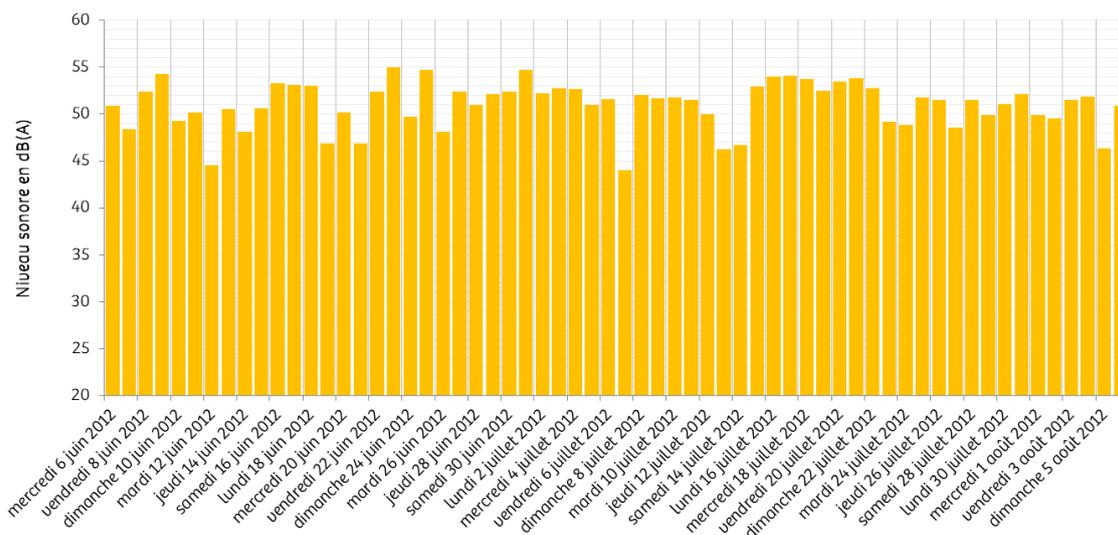
Pour les soirées ayant fait l'objet de survols détectés d'un point de vue acoustique, les niveaux LAeq, aéronefs 18h-22h sont compris entre 35,4 et 55,9 dB(A). Aucun survol n'a été détecté d'un point de vue acoustique au cours des soirées du 7 et du 13 juin.

LAeq aéronefs 22h-6h



Les niveaux LAeq, aéronefs 22h-6h sont compris entre 20,4 et 40,9 dB(A) (pour les nuits faisant l'objet de survols détectés). Sur la période d'analyse d'environ deux mois, seize nuits ont fait l'objet de survols sur la période comprise entre 22h et 6h. Il s'agit principalement d'hélicoptères. L'origine et la destination de ces hélicoptères n'est pas déterminée.

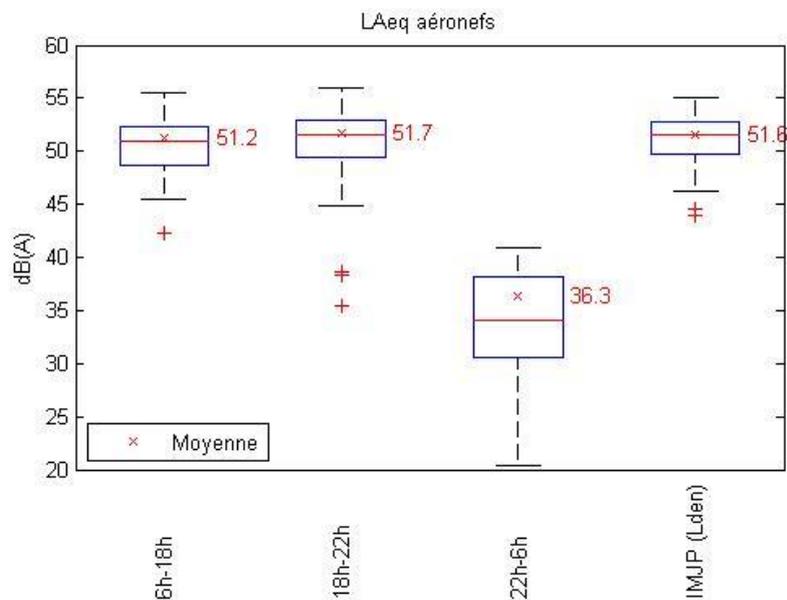
Indicateur moyen journalier pondéré



Les indicateurs moyens journaliers pondérés sont compris entre 44 et 55 dB(A). La valeur de 55 dB(A) a été atteinte pour la journée du 23 juin 2012.

Le Lden calculé sur l'ensemble de la période de mesure (soit 62 jours consécutifs) s'élève à **51,6 dB(A)**. Cette valeur est inférieure à la valeur limite définie par la directive européenne 2002/49/CE et sa transposition en droit français (arrêté du 4 avril 2006).

La figure ci-dessous met en évidence la distribution des différents indicateurs acoustiques sur la période d'analyse.



Les indicateurs LAeq, aéronefs 6h-18h et 18h-22h sont proches, leur moyenne s'établit respectivement à 51,2 dB(A) et 51,7 dB(A).

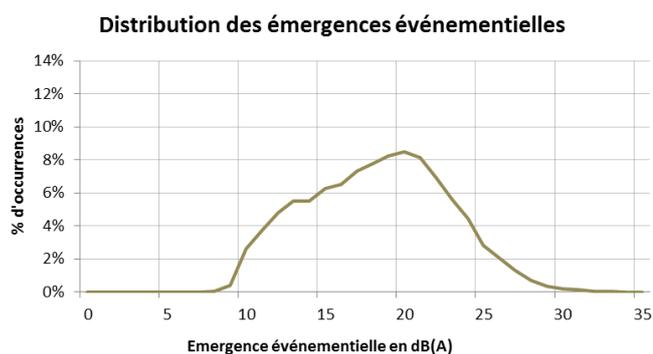
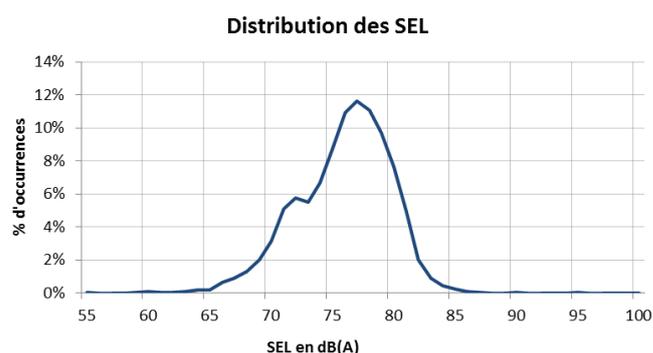
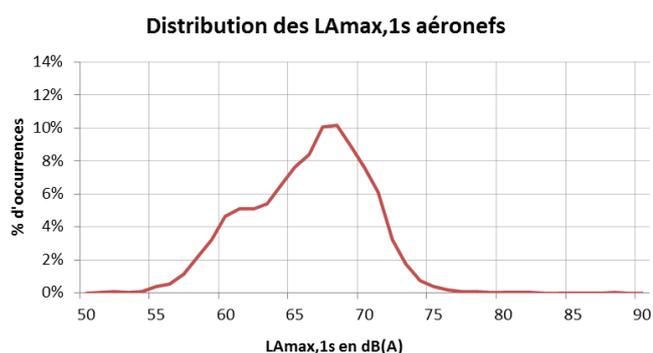
La moyenne de l'indicateur LAeq, aéronefs 22h-6h s'établit elle à 36,3 dB(A).

4.3. Résultats concernant les indicateurs événementiels

Ce chapitre est consacré à la présentation des résultats des indicateurs acoustiques événementiels L_{Amax}, SEL, émergences événementielles, NE (Nombre d'événements acoustiques dûs au trafic aérien hors avions de ligne), NA62, NA65 et NA70, night.

4.3.1. Indicateurs L_{Amax}, SEL et émergences événementielles

Les figures ci-dessous présentent la distribution statistique des niveaux de pointe L_{Amax,1s}, SEL et des émergences événementielles associés aux aéronefs pour l'ensemble de la période d'analyse.



Distribution statistique des valeurs L_{Amax,1s}, SEL et émergences événementielles

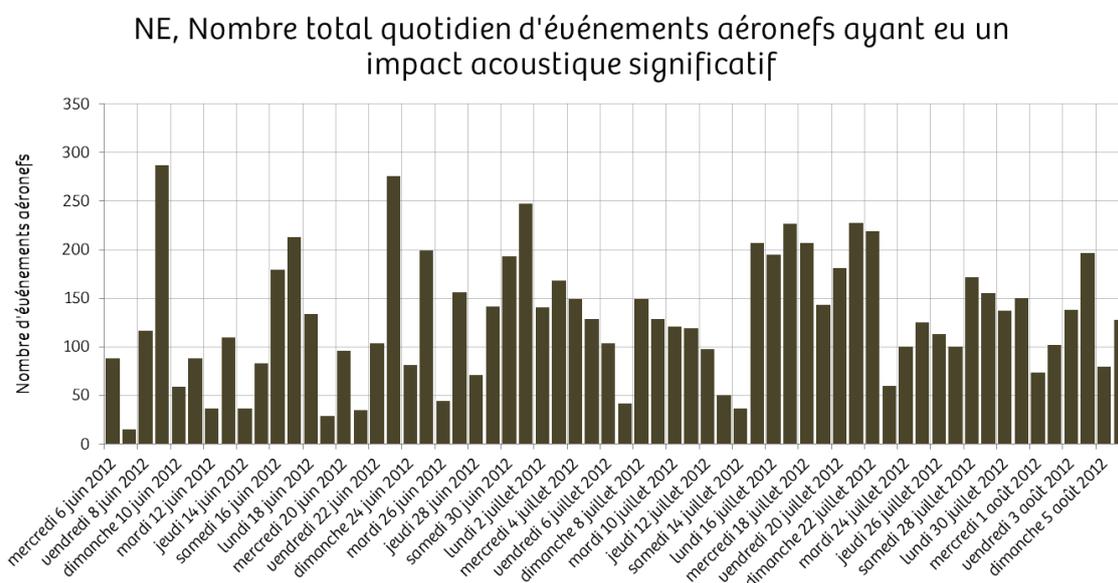
La distribution des L_{Amax,1s} montre un « mode principal » à 68 dB(A). Ce mode représente la valeur la plus fréquemment atteinte au cours des survols détectés.

De la même manière la distribution des SEL montre un mode à 77 dB(A) et la distribution des émergences événementielles un mode à 20 dB(A).

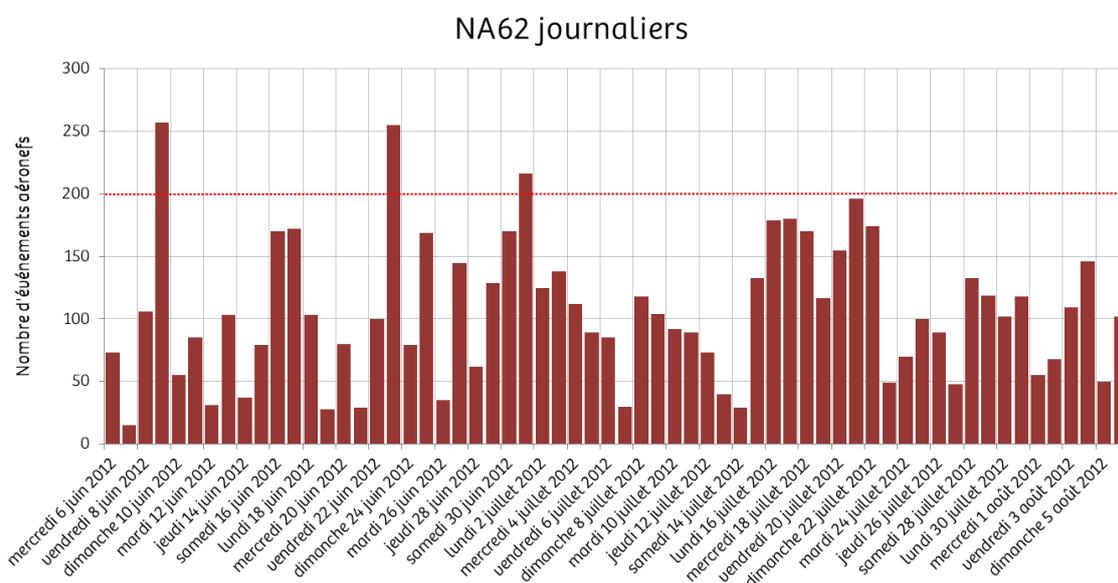
Ces distributions semblent mettre en évidence un mode secondaire qui pourrait correspondre à un groupe d'aéronefs ayant un impact acoustique un peu plus faible. Ce mode secondaire se situe vers 61 dB(A) sur la distribution des L_{Amax} et vers 72 dB(A) sur celle des SEL.

4.3.2. Indicateurs NE, NA62, NA65 et NA70,night

Les distributions des indicateurs événementiels quotidiens NE, NA62, NA65 et NA70,night sont présentées dans les figures suivantes.

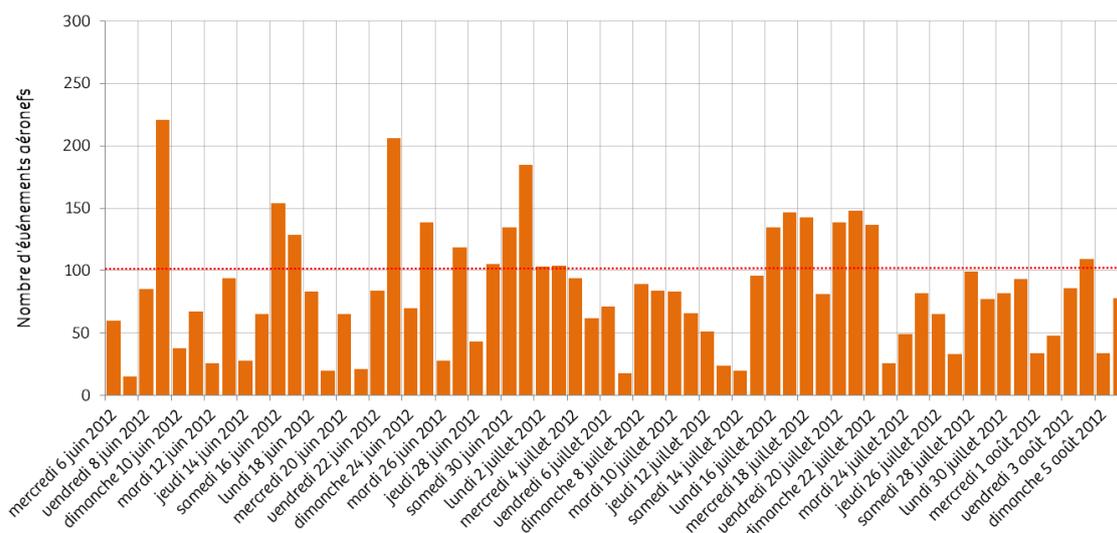


Le nombre total d'événements aéronefs détectés d'un point de vue acoustique est compris entre 15 et 287. La journée ayant fait l'objet du plus grand nombre de survols ayant un impact acoustique significatif est celle du samedi 9 juin 2012.



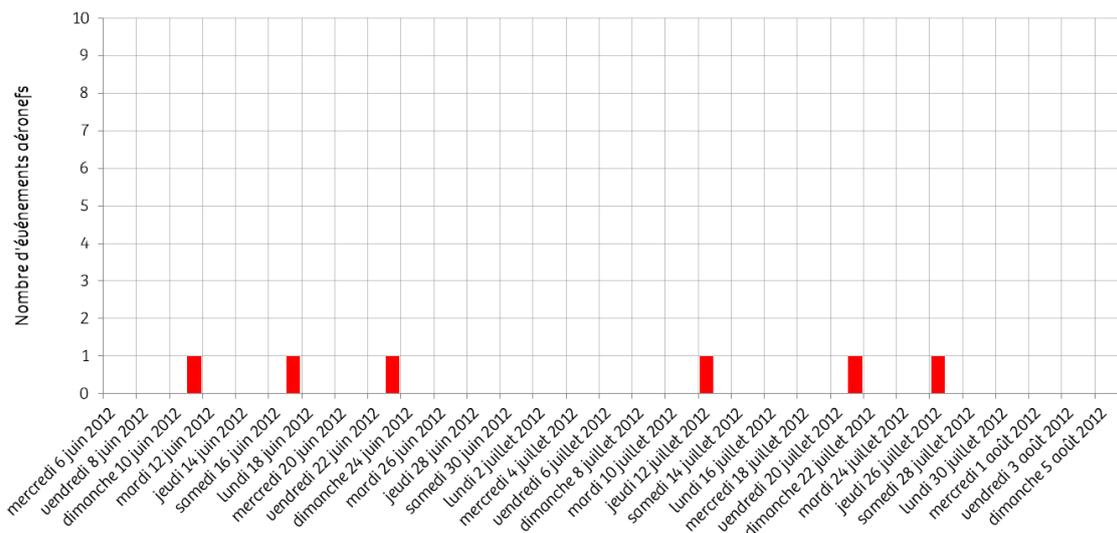
Le nombre de survols ayant généré un niveau de bruit maximum sur une seconde d'au moins 62 dB(A) (NA62) est compris entre 15 et 257 survols. La journée en ayant montré le plus grand nombre est celle du samedi 9 juin 2012. Trois journées ont fait l'objet d'au moins 200 survols ayant généré un niveau de bruit (en LAmax,1s) supérieur à 62 dB(A).

NA65 journaliers



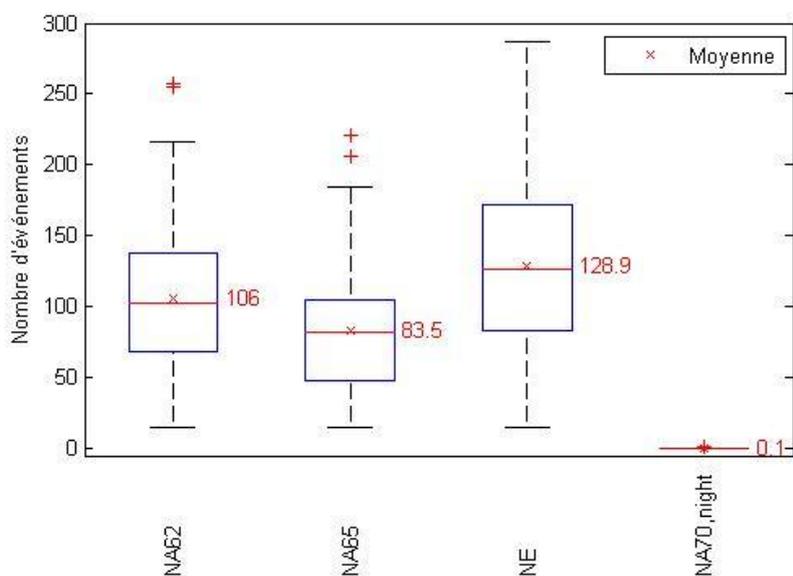
Le nombre de survols ayant généré un niveau de bruit maximum sur une seconde d'au moins 65 dB(A) (NA65) est compris entre 15 et 221 survols. La journée en ayant montré le nombre le plus important est celle du samedi 9 juin 2012. 18 journées ont fait l'objet d'au moins 100 survols ayant généré un niveau de bruit (en L_{Amax,1s}) supérieur à 65 dB(A).

NA70, night



Six nuits ont été impactées par un survol ayant dépassé 70 dB(A) en L_{Amax}.

La figure ci-dessous met en évidence la distribution des différents indicateurs acoustiques événementiels sur la période d'analyse.



Le NA62 moyen s'établit à 106 et le le NA65 moyen à 83,5. Environ 129 survols ayant eu un impact acoustique significatif ont été détectés en moyenne par jour. De fortes fluctuations de cette valeur sont observables (de quelques survols à plus de 280).

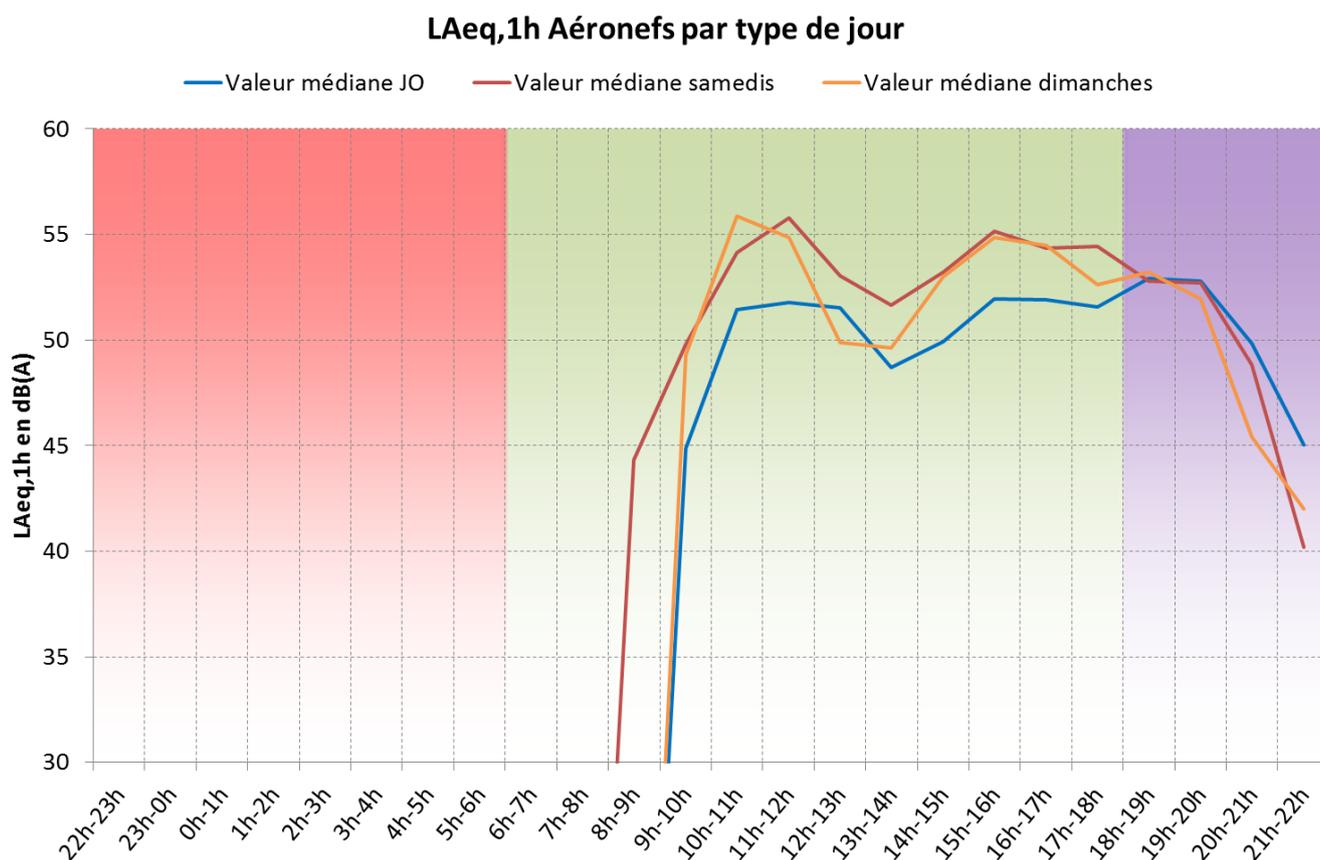
4.4. Variation du bruit en fonction des heures et des types de jours

Cette partie présente une analyse des variations du bruit occasionné par les survols d'aéronefs en fonction de l'heure et du type de jour.

4.4.1. Niveaux sonores par périodes horaires et jours de la semaine

La figure ci-dessous présente les cycles journaliers de l'indicateur énergétique LAeq partiel aérien 1h pour les jours ouvrables, les samedis et les dimanches. Cela permet de dégager une tendance caractéristique des variations du bruit dû au trafic des aéronefs au cours d'un jour ouvrable, d'un samedi ou d'un dimanche.

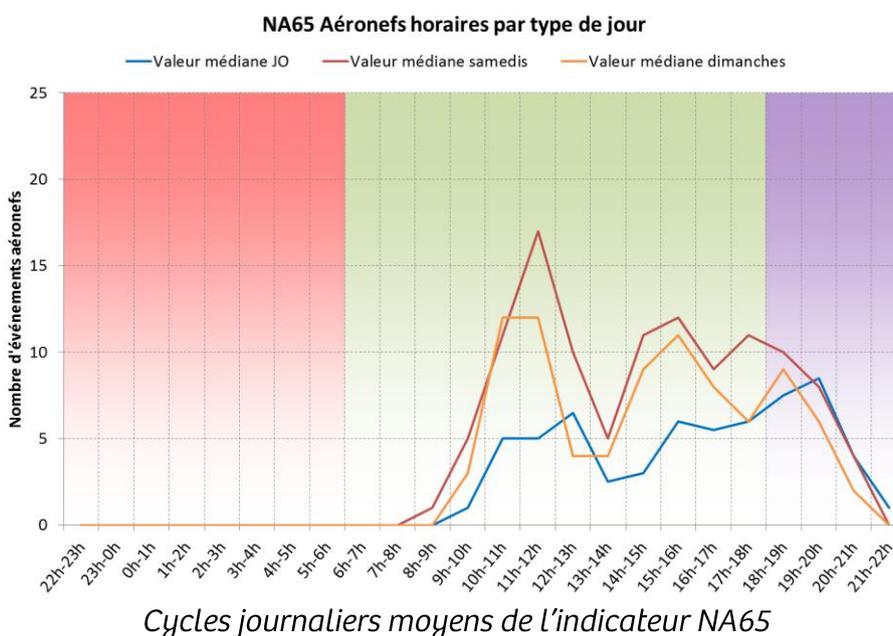
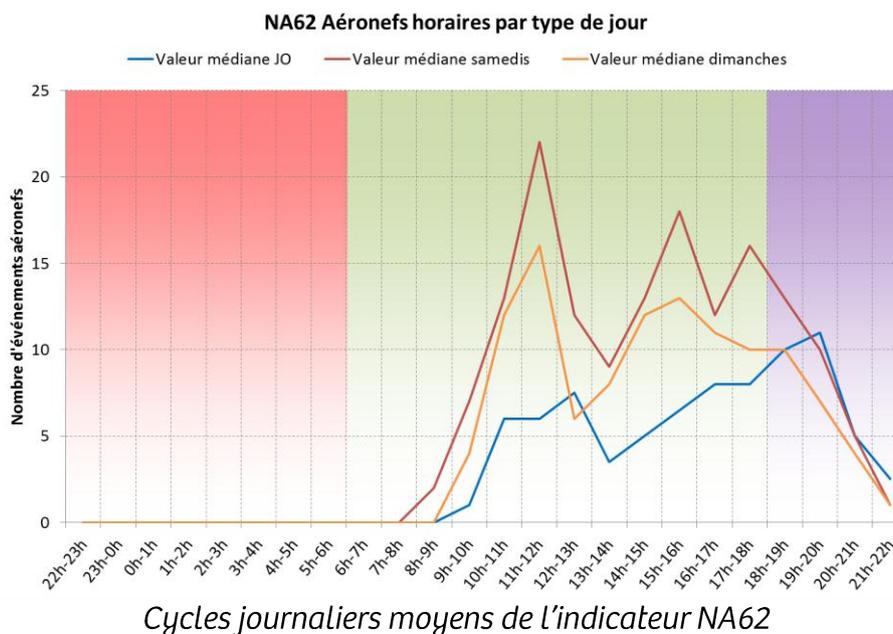
Elle compare les cycles journaliers médians de l'indicateur LAeq partiel aérien, 1h des trois types de jours : jours ouvrables, samedis et dimanches. Cette approche offre une vision globale des variations au cours de la journée des niveaux de bruit générés par le trafic des aéronefs de l'aérodrome de Saint Cyr.



Cycles journaliers de l'indicateur LAeq partiel aéronefs, 1h ; comparaisons des valeurs médianes des périodes jours ouvrables, samedi et dimanche.

4.4.2. Indicateurs événementiels par périodes horaires et jours de la semaine

Les figures ci-dessous présentent les cycles journaliers des indicateurs événementiels NA62 et NA65 horaires pour les jours ouvrables, les samedis et les dimanches. Cela permet de dégager une tendance caractéristique des variations du bruit dû au trafic des aéronefs au cours d'un jour ouvrable, d'un samedi ou d'un dimanche.



Le samedi représente la journée la plus impactée en termes de survols. De la même manière l'heure la plus impactée est celle comprise entre 11h et 12h pour les samedis et les dimanches et entre 19h et 20h les jours ouvrables.

5. Conclusion

La mesure réalisée par Bruitparif a permis d'étudier finement l'environnement sonore d'un secteur situé sur la commune de Fontenay le Fleury à proximité de l'aérodrome de Saint-Cyr l'École (78).

Le site sélectionné se trouve au sein d'un quartier d'habitations collectives avec une importante densité de population. La mesure fait suite à une forte demande des riverains, relayée par des associations, en attente d'informations objectives sur leur exposition au bruit.

Les mesures ont été réalisées du 5 juin au 6 août 2012, à une période où les nuisances sonores ressenties par les riverains sont en général les plus élevées en raison d'une activité aéronautique plus soutenue et d'un temps de présence à l'extérieur plus important du fait des meilleures conditions météorologiques.

Les données brutes produites au pas de temps de la seconde ont été analysées de manière approfondie afin de distinguer le bruit lié au trafic des avions des autres sources de bruit en présence. Ceci a été rendu possible grâce à l'utilisation de stations de mesure expertes permettant de déterminer la direction de provenance du bruit à tout instant et donc de discriminer les périodes où le bruit provient d'en haut (événements de type avions) des périodes où le bruit est davantage généré au sol (bruit de sources terrestres tels que trafic routier, bruits de voisinage...).

Les enregistrements audionumériques disponibles pour les événements sonores détectés ont également permis, dans la mesure du possible, d'isoler les survols par des avions de ligne. Les indicateurs acoustiques ont donc été principalement déterminés pour les survols à priori liés à l'aérodrome de Saint Cyr l'École (avions de tourisme et hélicoptères).

Différents types d'indicateurs ont pu être produits : des indicateurs dits « énergétiques » car s'intéressant au bruit moyen au cours d'une période et des indicateurs dits « événementiels » s'intéressant au nombre et aux caractéristiques acoustiques des événements liés aux avions.

Aussi a-t-il été décidé de sélectionner les indicateurs acoustiques suivants :

- LAeq avions sur les périodes réglementaires (6h-18h, 18h-22h et 22h-6h)
- Indicateur Moyen Journalier Pondéré (calculé sur le modèle du Lden mais sur une seule journée) et Lden sur l'ensemble de la mesure
- NA62, NA65, NA70,night et NE représentant respectivement le nombre de survols ayant dépassé 62 et 65 dB(A) sur une journée, le nombre de survols ayant dépassé 70 dB(A) la nuit et le nombre total de survols

Il existe pour certains de ces indicateurs des valeurs de référence, à savoir :

- Pour l'indicateur énergétique Lden aérien : valeur limite réglementaire de 55 dB(A).
- Pour l'indicateur événementiel NA62 : recommandation de l'ACNUSA de ne pas dépasser la valeur limite de 200 survols.
- Pour l'indicateur événementiel NA65 : recommandation de l'ACNUSA de ne pas dépasser la valeur limite de 100 survols.
- Pour l'indicateur NA70,night : valeur limite de 10 événements (avis du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France).

Le Lden « aéronefs » calculé sur l'ensemble de la période de mesure (soit 62 jours consécutifs) s'élève à **51,6 dB(A)**. Cette valeur est inférieure à la valeur limite. Toutefois il est important de préciser que ce Lden est calculé sur l'ensemble de la période de mesure. L'activité de l'aérodrome étant plus soutenue le week-end et les jours de beau temps l'impact du trafic aérien est variable d'une journée à l'autre.

Ainsi l'indicateur moyen journalier pondéré calculé sur le modèle du Lden, mais pour chaque journée, varie de 44 à 55 dB(A) sur la totalité de la mesure. La valeur limite de 55 dB(A) a été atteinte la journée du 23 juin.

Le NA62 moyen sur l'ensemble de la période est de 106 alors que le NA65 moyen est de 83. La variabilité de l'activité de l'aérodrome conduit à des variations importantes de ces indicateurs acoustiques événementiels. Ainsi le NA62 quotidien varie de 15 à 257 et le NA65 de 15 à 221.

Les valeurs de référence recommandées par l'ACNUSA et évoquées ci-dessus ont été dépassées sur certaines journées. Trois journées ont fait l'objet d'un NA62 supérieur ou égal à 200 et 18 journées ont fait l'objet d'un NA65 supérieur ou égal à 100, soit, en proportion, plus de 30 % des journées de cette période.

Le samedi représente la journée la plus impactée en termes de survols. De la même manière l'heure la plus impactée est celle comprise entre 11h et 12h pour les samedis et les dimanches et entre 19h et 20h les jours ouvrables.