



# MOTUS

## Minimisation de l'impact acoustique des VTOLs en conditions urbaines

Etude de la gêne due au bruit des hélicoptères  
Volet « évaluation du bruit »

### CAMPAGNE DE MESURE DU BRUIT

*PUBLICATION : JANVIER 2024*



**BRUITPARIF**

# SOMMAIRE

<b>CONTEXTE.....</b>	<b>3</b>
<b>HELIPORT DE PARIS ISSY-LES-MOULINEAUX.....</b>	<b>3</b>
<b>ZONE D'ETUDE.....</b>	<b>5</b>
Zone d'étude préalable.....	5
Sélection des secteurs d'enquête .....	5
<b>PLAN D'ECHANTILLONNAGE .....</b>	<b>7</b>
Répartition du nombre de stations de mesure selon les secteurs .....	7
Contraintes d'implantation .....	7
Repérage des sites.....	8
Liste des sites de mesure .....	9
<b>REALISATION DE LA CAMPAGNE DE MESURES .....</b>	<b>11</b>
Matériels de mesure.....	11
Descriptif des sites de mesure.....	12
Réalisation de la campagne de mesures .....	27
<b>EXPLOITATION DES DONNEES.....</b>	<b>28</b>
Invalidation des données perturbées .....	28
Bilan de fonctionnement des capteurs .....	28
Détection des événements aériens.....	29
Validation des événements aériens.....	31
<b>INDICATEURS DE BRUIT .....</b>	<b>32</b>
Indicateurs énergétiques .....	32
Indicateurs événementiels.....	33
Indicateurs globaux par périodes .....	35
<b>EVALUATION DU BRUIT ROUTIER.....</b>	<b>36</b>
Géolocalisation des participants .....	36
Evaluation du bruit routier en façade des participants.....	36
<b>RESULTATS SUR LA PERIODE DE MESURE.....</b>	<b>37</b>
Evènements sonores détectés par rapport au trafic aérien .....	37
Altitudes des survols détectés.....	43
Distance entre les survols et les sites de mesure.....	45
Indicateurs acoustiques énergétiques .....	47
Indicateurs acoustiques événementiels.....	50
<b>CONCLUSION .....</b>	<b>55</b>

## CONTEXTE

Airbus a lancé fin 2021 le projet MOTUS (pour Minimisation de l'impact acoustique des VTOLs en conditions urbaines), dont le volet 1.2 est destiné à étudier la gêne due au bruit des hélicoptères autour de l'héliport de Paris Issy les Moulineaux. Cette étude, pilotée par Airbus, est menée en collaboration avec l'Université Gustave Eiffel (UGE) et Bruitparif.

L'évaluation comprend une enquête par questionnaire réalisée en septembre 2023 par l'UGE auprès d'un échantillon de 768 personnes exposées au bruit d'hélicoptères dans le secteur de l'héliport de Paris – Issy les Moulineaux.

Les mesures réalisées par Bruitparif constituent la base des données destinées à évaluer l'exposition au bruit des hélicoptères de l'ensemble des participants à l'enquête. Des mesures de bruit ne pouvant pas être réalisées pour chaque participant, une modélisation numérique du bruit des hélicoptères est réalisée par Airbus Helicopters. Cette dernière a pour but de calculer une matrice de correction prenant en compte la distance et les effets de masquage ou de réflexion du bruit dus aux bâtiments, entre la trajectoire des hélicoptères, le point de mesure et la façade du participant.

Bruitparif a également fourni les résultats d'une modélisation du bruit routier en façade du logement de chaque participant. Elle a été opérée à partir des données des cartes de bruit stratégiques d'échéance 4 réalisées dans le cadre de la directive européenne 2002/49/CE. En l'absence de mesures représentatives du bruit résiduel pour chaque participant, ces niveaux de bruit routier fournissent une approximation du bruit résiduel hors survols par des hélicoptères. Ce bruit résiduel est ensuite retranché au niveau maximal atteint au cours de chaque survol pour calculer l'émergence événementielle.

Le présent document présente le processus de choix des sites de mesure, la description du matériel mis en place, la description des sites de mesure, la méthode de détection des événements sonores liés au survol par des hélicoptères, le descriptif des données livrées aux partenaires ainsi que quelques résultats de synthèse sur l'ensemble des sites. Les principaux livrables produits par Bruitparif pour cette étude sont des fichiers de données : tables d'événements sonores aériens et taux de disponibilité des données brutes.

## HELIPORT DE PARIS ISSY-LES-MOULINEAUX

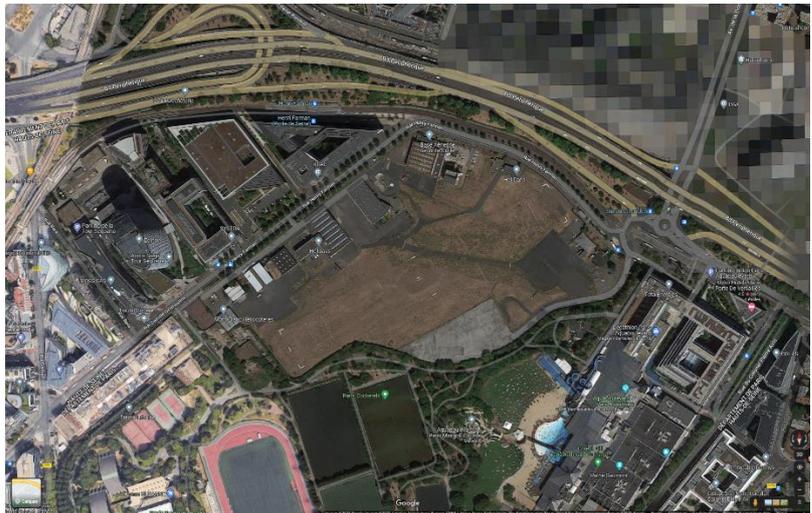
L'héliport de Paris - Issy-les-Moulineaux - Valérie André (LFPI) est un héliport situé à Paris, au sud de la porte de Sèvres et du boulevard périphérique, dans une zone constituant une extension du 15<sup>ème</sup> arrondissement, limitrophe de la commune d'Issy-les-Moulineaux (Hauts-de-Seine). Il dispose d'une seule piste en QFU 06/24 balisée et non revêtue. Cet héliport sert à de multiples usages :

- Rapatriements sanitaires ;
- Vols d'appareils d'État (sécurité civile, gendarmerie, police, armée, douanes) ;
- Vols de transport à la demande de passagers ou vols de fret ;
- Vols de travail aérien (pour des photos, héliportages, etc.) ;
- Vols touristiques ;
- Vols privés.

Il existe de fortes restrictions d'usage limitant l'utilisation de l'héliport.

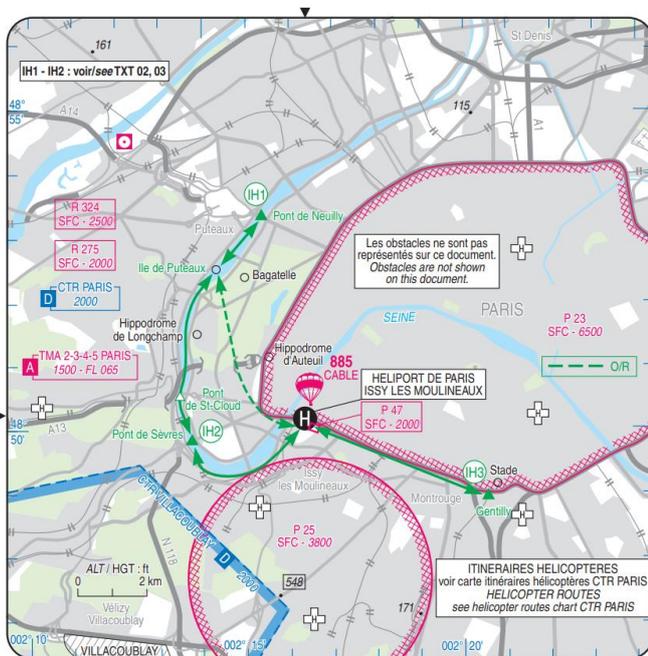
- Les commandants de bord doivent avoir pratiqué l'héliport au cours des 24 derniers mois et avoir reçu une formation spécifique pour connaître ses conditions particulières d'exploitation.
- Au départ ou à destination de l'héliport, les vols d'école et d'entraînement sont interdits.
- Au départ de l'héliport, les vols circulaires avec passagers sont interdits sauf si une escale de plus d'une heure est prévue au cours du vol.
- Les samedis, dimanches et jours fériés, le trafic journalier est limité à 70 mouvements.
- Le nombre de mouvements sur l'héliport est plafonné à 12 000 par an.

L'année 2022 a présenté 8218 mouvements. En 2021, marquée par des restrictions de déplacements en lien avec le Covid-19, l'héliport a présenté 7250 mouvements et en 2019, le trafic représentait 9650 mouvements.

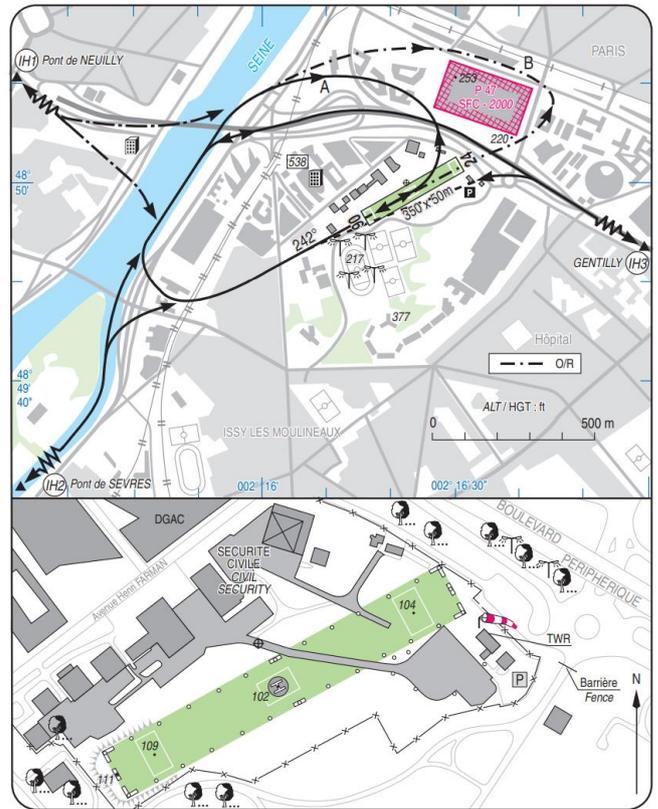


Vue aérienne de l'héliport Valérie André – Paris – Issy les Moulineaux

Les conditions d'approche à vue de l'héliport sont données par les cartes VAC de la DGAC.



Extrait de la carte VAC de l'héliport  
Trajectoires en vert



Extrait de la carte VAC de l'héliport  
Trajectoires en noir

## ZONE D'ETUDE

### Zone d'étude préalable

Le choix des secteurs d'étude a fait l'objet d'un premier livrable par Bruitparif (Motus – Sélection des sites d'étude) en mars 2023. Ces secteurs ont été sélectionnés initialement afin d'interroger **750 personnes** riveraines de l'héliport et potentiellement survolées par des hélicoptères à différents niveaux sonores.

La répartition des sujets en fonction de l'exposition au bruit des hélicoptères a été opérée à partir de l'indicateur **L<sub>Amax</sub>** représentant le niveau sonore maximal atteint au cours d'un survol par un hélicoptère, et à partir d'un indicateur d'émergence événementielle calculé comme la différence entre ce L<sub>Amax</sub> et le niveau de bruit routier diurne issu des cartes de bruit stratégiques.

L'évaluation de l'indicateur L<sub>Amax</sub> a été réalisée par Bruitparif au moyen du logiciel open source Noise Modelling développé par l'Université Gustave Eiffel et le CEREMA. Noise Modelling est le seul outil à disposition pour modéliser le bruit des hélicoptères en milieu urbain avec la prise en compte du bâti. En revanche, ce logiciel ne dispose pas, en natif, d'une base de données d'émissions sonores pour les aéronefs. Ces données ont été produites spécifiquement pour l'étude Motus par AIRBUS Helicopters à partir d'outils développés en interne.

En raison du nombre de mouvements d'hélicoptères plus important sur la section sud-ouest de l'héliport, il a été décidé avec les partenaires du projet de sélectionner la zone d'étude sur ce secteur qui comprend les villes **d'Issy les Moulineaux, Boulogne-Billancourt, le sud du 15<sup>ème</sup> arrondissement de Paris, Meudon et Sèvres**.

Après avoir isolé ce secteur préalable, une zone d'étude plus restreinte a été définie de part et d'autre de la trajectoire moyenne pour la définition de zones d'enquête et le comptage du nombre potentiel de personnes et de logements au sein de ces zones. Cette zone d'étude restreinte est définie dans une bande de 1 km de part et d'autre de la trajectoire moyenne.

### Sélection des secteurs d'enquête

Afin de concentrer géographiquement les enquêtes sur quelques secteurs, une sélection de zones restreintes a été opérée au sein de la zone d'étude préalable. L'objectif est d'interroger 750 personnes exposées à différents niveaux de bruit d'hélicoptères, en L<sub>Amax</sub> et en émergence. L'hypothèse du taux de réponse étant fixée à 10 %, le nombre total de logements disponibles au sein des secteurs d'enquête devait être de 7500 logements au minimum.

La sélection des secteurs d'enquête a été réalisée directement à partir de la carte de bruit représentant l'exposition sonore des bâtiments selon leur plage de L<sub>Amax</sub> combinée à l'émergence.

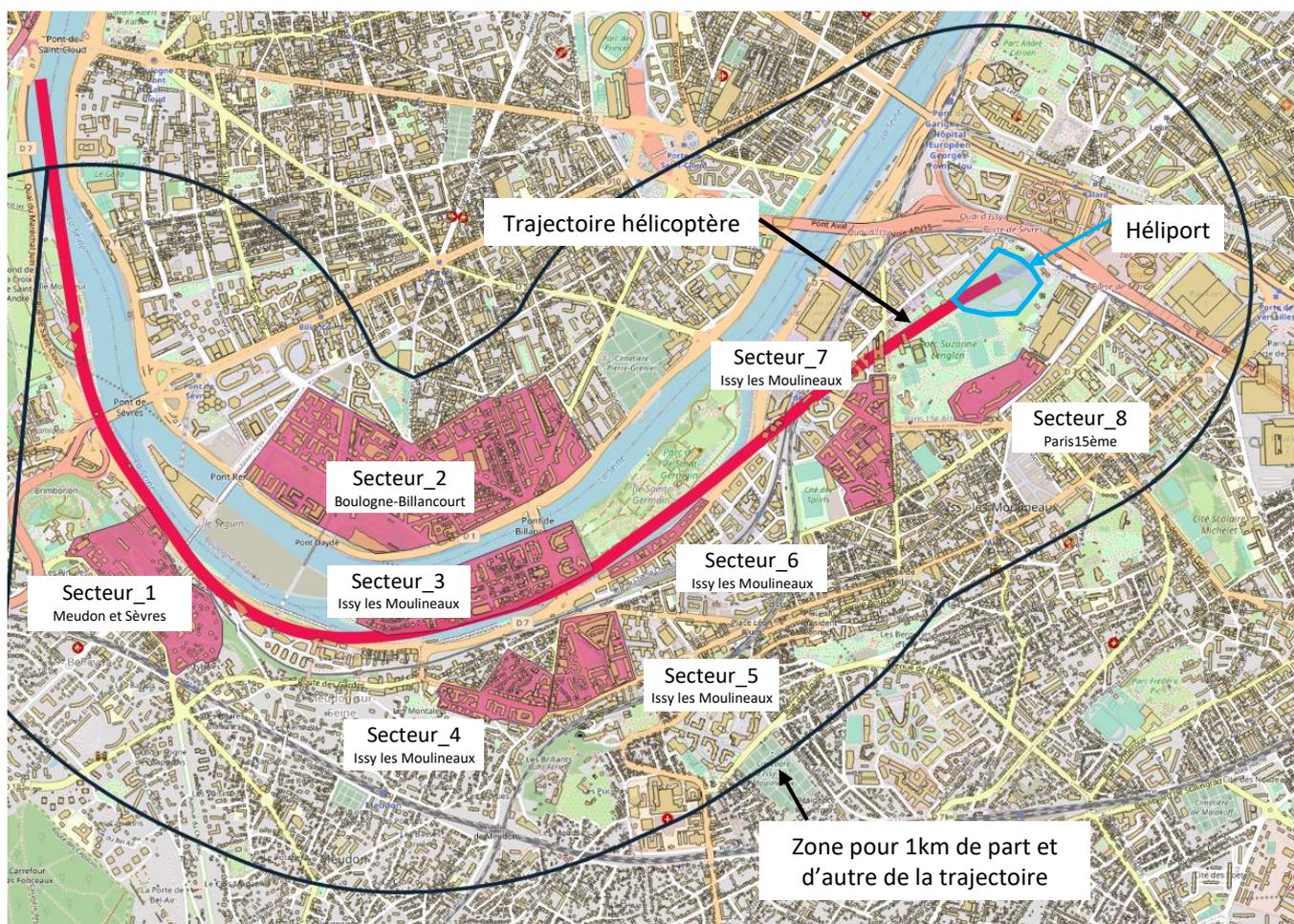
Les secteurs fortement impactés par le bruit routier et le bruit ferroviaire ont été exclus des secteurs d'étude. Ces exclusions concernent les secteurs où l'émergence du bruit des hélicoptères par rapport au bruit routier était nulle et les secteurs exposés à plus de 60 dB(A) en L<sub>den</sub> ferroviaire (selon les cartes de bruit stratégiques établies dans le cadre de la directive européenne 2002/49/CE).

Finalement, 8 secteurs d'étude ont été sélectionnés de manière à disposer de suffisamment d'habitants pour les différents groupes d'exposition au bruit. Certains secteurs contigus les uns des autres ont été fusionnés. Le découpage des zones a également été opéré pour faciliter le futur travail des enquêteurs, par exemple en ajustant le contour des zones aux rues. L'ensemble des zones d'enquêtes ainsi sélectionnées comprend 9 900 logements avec environ 220 à 3 700 logements par plages de L<sub>max</sub>.

Emergences par plages de 5 dB(A)	L <sub>max</sub> ,hélicoptère en dB(A)					TOTAL
	<55	55-60	60-65	65-70	>70	
0-5	155	535	927	902	110	2 629
5-10	48	381	1 382	575	396	2 782
10-15	16	118	598	614	324	1 670
15-20	0	83	735	614	509	1 941
>20	1	29	27	695	129	881
<b>Total général</b>	<b>220</b>	<b>1 146</b>	<b>3 669</b>	<b>3 400</b>	<b>1 468</b>	<b>9 903</b>

Répartition du nombre de logements par typologie d'exposition au bruit des hélicoptères (L<sub>max</sub> et émergence)

La figure ci-dessous présente les différentes zones d'étude finalement sélectionnées.



Zones d'enquêtes sélectionnées

## PLAN D'ÉCHANTILLONNAGE

### Répartition du nombre de stations de mesure selon les secteurs

Quinze stations étaient prévues par Bruitparif pour la réalisation de la campagne de mesures du bruit. Ces 15 stations ont été réparties sur l'ensemble des 8 secteurs d'études sélectionnés. L'objectif était de disposer d'au moins une station par secteur d'étude. La répartition a ensuite été définie en fonction de la surface et du nombre de logements de chaque secteur d'étude.

Le tableau ci-dessous indique le nombre de stations par secteur, selon une répartition proportionnelle à la surface de chaque secteur par rapport à la surface totale d'étude, et selon une répartition proportionnelle au nombre de logements de chaque secteur d'étude par rapport au nombre total de logements de la zone d'étude.

Zones	Surface (ha)	Nombre de stations par secteur pour une répartition selon la surface	Nombre de stations par secteur pour une répartition selon la surface (arrondi)	Nombre de logements par secteur	Nombre de stations par secteur pour une répartition selon le nombre de logements	Nombre final de stations par secteur
Secteur 1	17	2.1	2	370	0.6	<b>1</b>
Secteur 2	55	6.6	6	4 721	7.2	<b>6</b>
Secteur 3	19	2.3	2	1 193	1.8	<b>2</b>
Secteur 4	8	0.9	1	1 012	1.5	<b>1</b>
Secteur 5	9	1.1	1	703	1.1	<b>1</b>
Secteur 6	2	0.3	1	180	0.3	<b>1</b>
Secteur 7	10	1.2	1	1 364	2.1	<b>2</b>
Secteur 8	5	0.6	1	360	0.5	<b>1</b>
<b>TOTAL</b>	<b>125</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>9 903</b>	<b>15</b>	<b>15</b>

*Options de répartition des stations selon les secteurs d'étude et selon deux modalités*

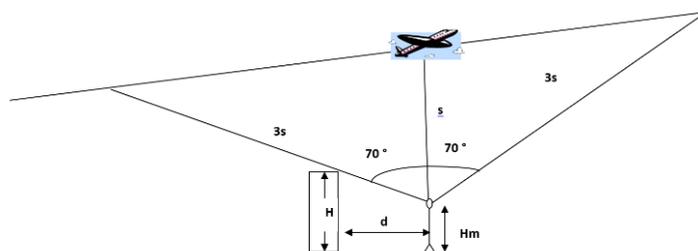
Les répartitions sont relativement similaires selon les deux cas. Le secteur 2 étant significativement plus grand et plus peuplé que les autres secteurs, il a été doté de six stations de mesure au total contre une à deux stations pour les autres secteurs.

### Contraintes d'implantation

Les sites d'installation des stations mesure du bruit ont été choisis de manière à :

- Être représentatifs des situations d'exposition au bruit des populations survolées : les sites implantés au sein (ou proches) des zones d'habitation sont privilégiés.
- Être situés de manière à réduire autant que faire se peut les autres sources de bruit : routes, voies ferrées, usines et activités diverses, équipements de ventilation/climatisation/pompage, cours de récréation, arbres (bruissement du vent dans les feuilles et bruit des oiseaux), surfaces planes dures (réflexions acoustiques et impacts sonores en cas de pluie ou grêle...). On recherche, dans la mesure du possible, des sites pour lesquels les émergences événementielles liées aux survols des aéronefs sont d'au moins 10 dB(A).
- Minimiser les perturbations de la propagation de l'énergie acoustique entre la source aérienne et le microphone. Pour cela, on privilégie les implantations sur les terrains présentant les caractéristiques suivantes :
  - **Relativement plat.**

- **Dégagé le plus possible de tout obstacle.** On retiendra les exigences minimales suivantes afin de réduire l'incertitude de mesure des niveaux acoustiques :
  - Toutes les surfaces réfléchissantes, significatives du point de vue acoustique, autres que le sol, doivent se trouver à au moins 10 mètres du microphone,  $d \geq 10 \text{ m}$
  - La hauteur par rapport au sol des obstacles **H doit être inférieure à  $H_m + d \times \tan(20^\circ)$**  où  $H_m$  est la hauteur du microphone par rapport au sol et  $d$  est la distance horizontale entre le mât sur lequel est implanté le microphone et l'obstacle. Cela permet de garantir l'identification de la trajectoire de vol sur un angle solide de  $70^\circ$  de part et d'autre de la distance la plus courte entre l'aéronef et le microphone qui contribue aux niveaux de bruit compris entre  $L_{Amax-10 \text{ dB}}$  et  $L_{Amax}$  (cf. schéma ci-dessous)



Les lieux d'instrumentation ont également été choisis comme :

- Ne présentant pas de caractéristiques réfléchissantes particulières : afin de réduire le plus possible les effets d'interférence avec les réflexions par le sol, le microphone devait être placé à une hauteur d'environ **4 mètres**.
- **N'étant pas accessibles au public.** L'installation devait être réalisée sur du mobilier urbain, une toiture terrasse ou au sein d'un espace clos fermé et grillagé ou en hauteur sur du mobilier urbain.

La zone d'étude étant très urbanisée avec de hauts immeubles et un réseau routier dense, **l'installation des stations de mesure en toiture terrasse de bâtiments** s'est imposée. Une installation des capteurs sur du mobilier urbain aurait impliqué un très fort risque de perturbations sonores par la circulation routière. De plus, à des hauteurs de 4 à 6 mètres par rapport au sol, comme c'est le cas pour des installations sur du mobilier urbain, le bruit des hélicoptères aurait été fortement altéré par les effets de masquage du son dus à la présence de bâtiments entre la trajectoire de l'hélicoptère et le capteur.

Pour ces raisons, la recherche de sites pour l'implantation des stations s'est orientée sur des toitures d'immeubles avec toit terrasse accessibles et, dans la mesure du possible, avec peu d'équipements techniques en toiture.

D'autre part, **Bruitparif a développé pour les besoins de l'étude un système spécifique complètement autonome alimenté par panneau solaire.** Ce dispositif a permis de largement simplifier la recherche de site en s'affranchissant des contraintes d'alimentation électrique.

### Repérage des sites

Un premier plan d'échantillonnage a été élaboré à partir de vues aériennes. Les sites pressentis ont été définis de manière à répondre aux contraintes techniques d'implantation, en tâchant de les positionner au centre des secteurs d'études et/ou des zones denses de populations.

Des repérages ont été réalisés sur le terrain pour identifier les propriétaires et gestionnaires des bâtiments, leur demander un accord de principe pour l'installation des stations de mesure et pour assurer des visites techniques des sites afin d'en valider la pertinence.

Environ soixante propriétaires ou gestionnaires de bâtiments ont ainsi été sollicités. A l'issue de ces investigations, les 15 sites de mesure suivants ont finalement été sélectionnés.

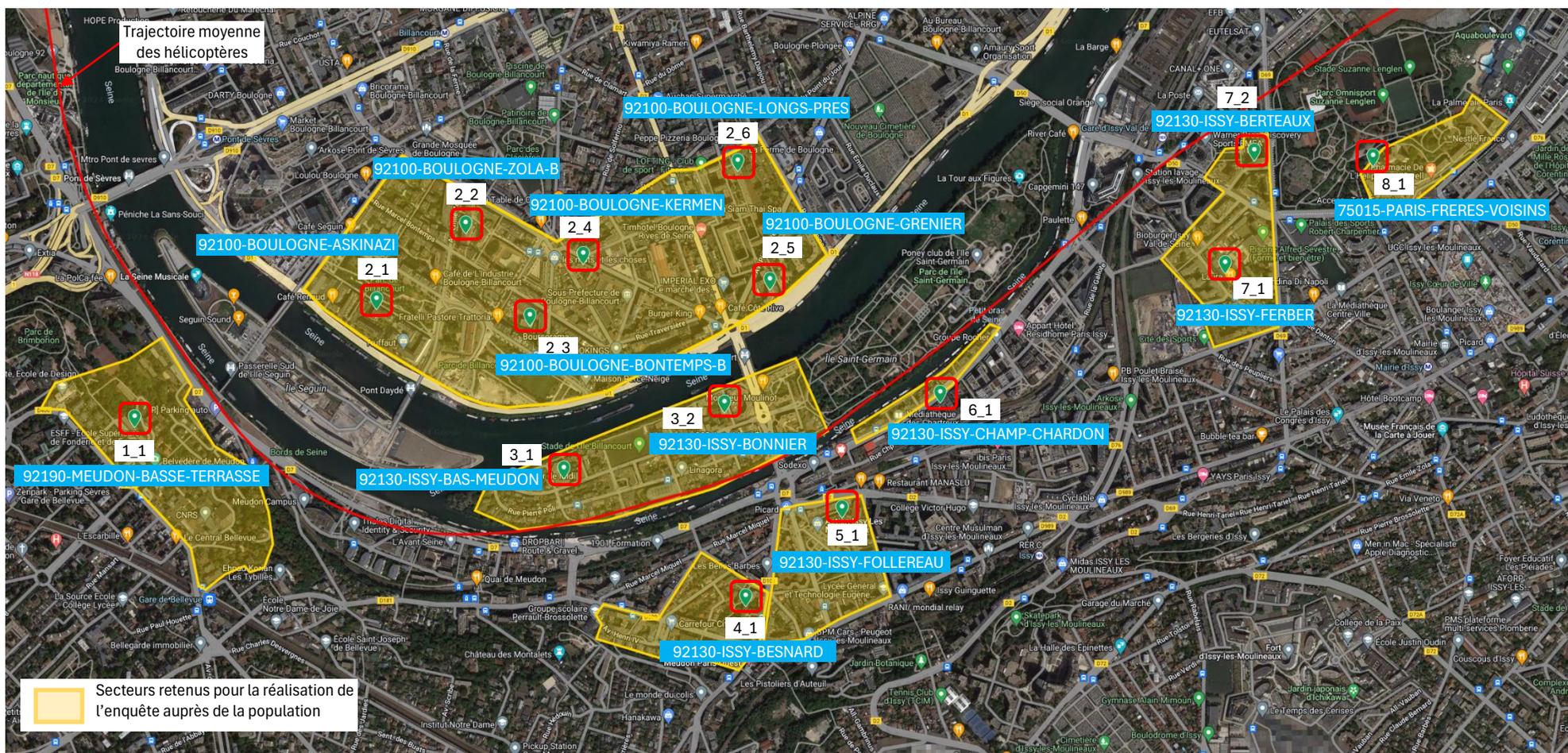
## Liste des sites de mesure

Le tableau ci-dessous indique le nom de chaque point de mesure avec sa localisation.

Secteur	Point	NOM DU SITE	Adresse	Nombre d'étages du bâtiment	Hauteur du micro par rapport au sol (m)	CP ville	Coordonnées en latitude, Longitude
Secteur 1	1_1	<b>92190-MEUDON-BASSE-TERRASSE</b>	1 quater rue Basse de la Terrasse	R+2	14	92190 MEUDON	48.82292718666904, 2.227128220019424
Secteur 2	2_1	<b>92100-BOULOGNE-ASKINAZI</b>	83/85 allée George Askinazi	R+8	31	92100 BOULOGNE-BILLANCOURT	48.82567233693528, 2.235865677769864
Secteur 2	2_2	<b>92100-BOULOGNE-ZOLA-B</b>	58 avenue Emile Zola	R+8	40	92100 BOULOGNE-BILLANCOURT	48.8274016782559, 2.238990158822395
Secteur 2	2_3	<b>92100-BOULOGNE-BONTEMPS-B</b>	21 rue Marcel Bontemps	R+6	26	92100 BOULOGNE-BILLANCOURT	48.82528013927862, 2.241227635035862
Secteur 2	2_4	<b>92100-BOULOGNE-KERMEN</b>	39/41 rue Yves Kermen	R+5	22	92100 BOULOGNE-BILLANCOURT	48.82667572887232, 2.243119364496869
Secteur 2	2_5	<b>92100-BOULOGNE-GRENIER</b>	14 avenue Pierre Grenier	R+7	21	92100 BOULOGNE-BILLANCOURT	48.826116319250104, 2.2497005489165125
Secteur 2	2_6	<b>92100-BOULOGNE-LONGS-PRES</b>	4 cour des Longs Prés	R+6	26	92100 BOULOGNE-BILLANCOURT	48.828852703203545, 2.2485498187207087
Secteur 3	3_1	<b>92130-ISSY-BAS-MEUDON</b>	62-66, rue du Bas Meudon	R+3	16	92130 ISSY LES MOULINEAUX	48.82173602242252, 2.2424199855761904
Secteur 3	3_2	<b>92130-ISSY-BONNIER</b>	Résidence du Pont des Arts, 1 allée d'Issy	R+5	18	92130 ISSY LES MOULINEAUX	48.82325082024871, 2.248071533489896
Secteur 4	4_1	<b>92130-ISSY-BESNARD</b>	6 rue Paul Besnard	R+6	24	92130 ISSY LES MOULINEAUX	48.81878790455728, 2.2488366840546483
Secteur 5	5_1	<b>92130-ISSY-FOLLEREAU</b>	4 Esplanade Raoul Follereau	R+7	26	92130 ISSY LES MOULINEAUX	48.820828857603175, 2.252229006287702
Secteur 6	6_1	<b>92130-ISSY-CHAMP-CHARDON</b>	28-36 rue Champ Chardon	R+5	23	92130 ISSY LES MOULINEAUX	48.82347774974662, 2.255683845242348
Secteur 7	7_1	<b>92130-ISSY-FERBER</b>	5 rue du Capitaine Ferber	R+7	27	92130 ISSY LES MOULINEAUX	48.826479077657815, 2.2657058035396624
Secteur 7	7_2	<b>92130-ISSY-BERTEAUX</b>	11 rue Maurice Berteaux (Bât B)	R+8	31	92130 ISSY LES MOULINEAUX	48.82908339646986, 2.2667302636260693
Secteur 8	8_1	<b>75015-PARIS-FRERES-VOISINS</b>	32/34 allée des Frères Voisins	R+9	23	75015 PARIS	48.82895819858108, 2.2711086998445307

*Liste et localisation des sites de mesure*

La figure ci-dessous indique la localisation des sites de mesure, les huit secteurs d'étude ainsi que la trajectoire moyenne suivie par les hélicoptères.

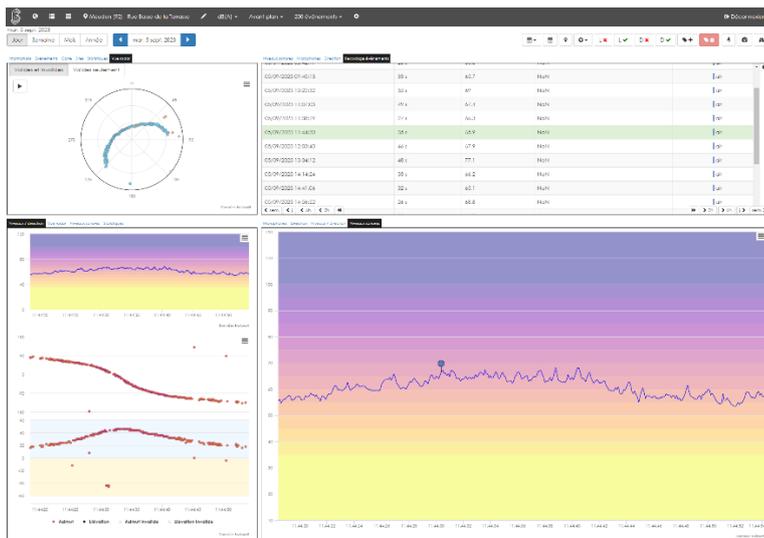


Vue aérienne des secteurs d'étude et localisation des sites de mesure

## REALISATION DE LA CAMPAGNE DE MESURES

### Matériels de mesure

Le système de mesure mis en œuvre est le système « Méduse » développé par Bruitparif (système breveté). Il s'agit d'un capteur équipé de 4 microphones permettant de mesurer le **niveau de bruit Leq en dB(A) et en dB(C) toutes les 100 millisecondes** et permettant de déterminer la direction de provenance du son. Des angles d'azimut (dans le plan horizontal) et d'élévation (dans le plan vertical) sont déterminés par le système toutes les 100 millisecondes. L'exploitation de ces données d'angles permet d'établir les contributions sonores selon les différentes localisations de provenance du son, et dans le cas d'une mesure du bruit lié au trafic aérien, de classer automatiquement l'origine aérienne des pics de bruit détectés d'un point de vue acoustique.



Capture d'écran de l'interface experte de Bruitparif

Le graphe en haut à gauche permet de visualiser la trace acoustique en projection 2D déterminée par l'antenne au cours de l'événement sonore. Les graphes en bas à gauche permettent de visualiser l'évolution temporelle de l'angle d'azimut et de l'angle d'élévation au cours du temps durant l'événement sonore. Le graphe en bas à droite permet de visualiser l'évolution temporelle du niveau de bruit global en dB(A) au cours de l'événement.

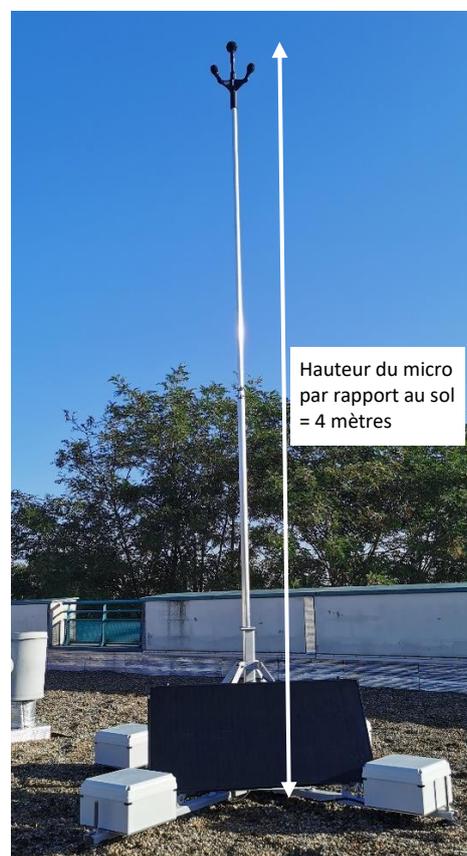
Bruitparif a développé, spécifiquement pour l'étude Motus, un système de déploiement du capteur avec alimentation électrique par panneau solaire et transmission des données en temps réel par réseau cellulaire vers le serveur informatique de Bruitparif.

L'antenne microphonique est montée sur un mât télescopique et basculant de 4 mètres de hauteur. La structure est en partie démontable pour le transport et pour pouvoir la passer à la main au travers des trappes d'accès en toiture.

L'alimentation électrique par panneau solaire a permis de s'affranchir de la réalisation d'un raccordement électrique sur le réseau du bâtiment facilitant grandement la mise en œuvre de la station. De plus, un raccordement électrique aurait probablement dissuadé les propriétaires de bâtiments à autoriser l'installation.

Le système est auto-lesté au moyen des batteries permettant l'alimentation électrique hors périodes d'ensoleillement. Le poids de l'ensemble est d'environ 80 kg.

La communication avec un routeur cellulaire permet de rester informé du bon fonctionnement du système en temps réel.



Vue du système sur le site 1\_1

Descriptif des sites de mesure

SECTEUR 1\_1 - 92190-MEUDON-BASSE-TERRASSE

1 quater rue Basse de la Terrasse, bâtiment A2, R+2 – 92190 MEUDON

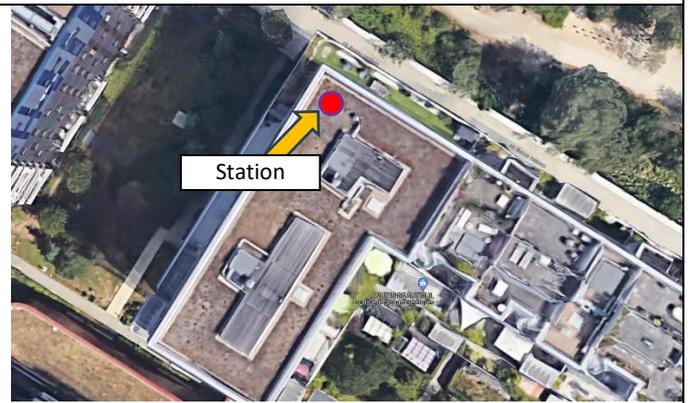
Lat/Long : 48.82291, 2.22718



# SECTEUR 2\_1 - 92100-BOULOGNE-ASKINAZI

83 Allée George Askinazi – 92100 BOULOGNE-BILLANCOURT

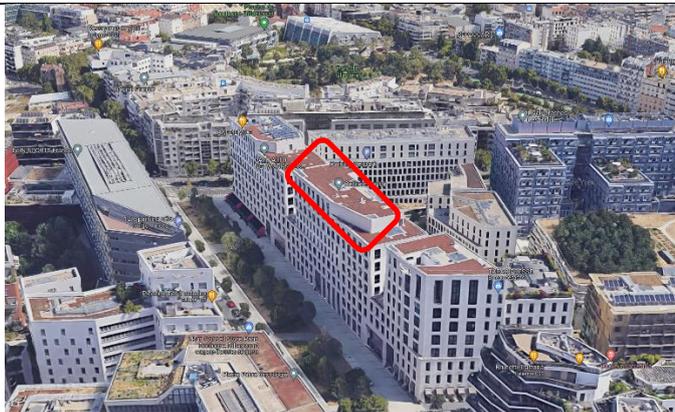
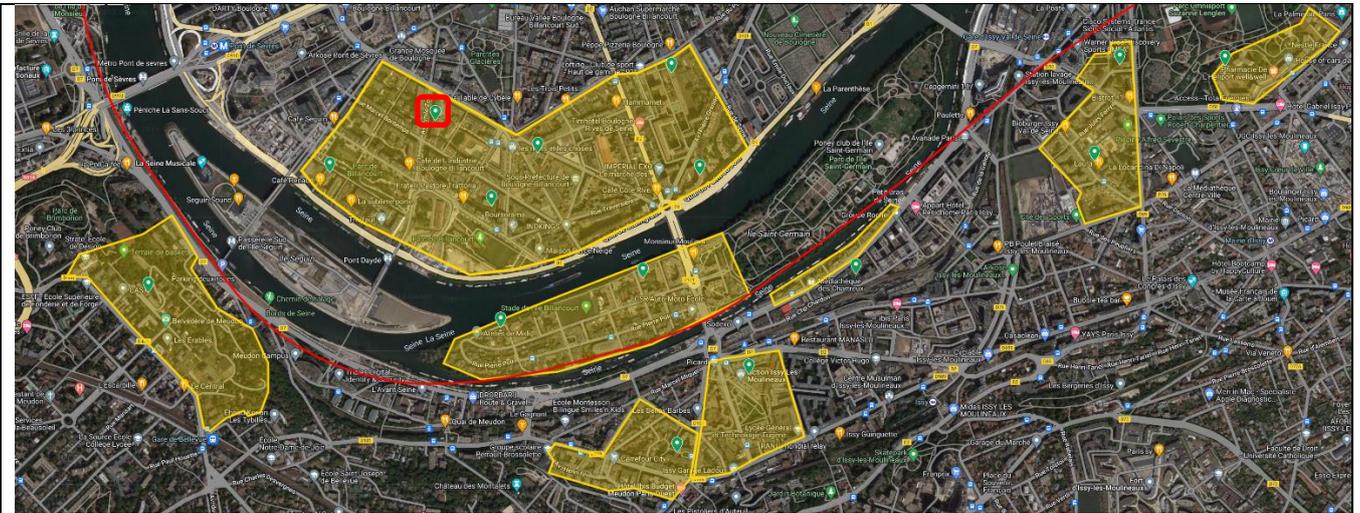
Lat/Long : 48.82566, 2.235865



## SECTEUR 2\_2 - 92100-BOULOGNE-ZOLA-B

Site Arkedo - 58 avenue Emile Zola – R+8 – 92100 BOULOGNE-BILLANCOURT

Lat/Long : 48.82739, 2.2389



### SECTEUR 2\_3 - 92100-BOULOGNE-BONTEMPS-B

Copropriété 21 rue Marcel Bontemps – R+6 – 92100 BOULOGNE-BILLANCOURT

Lat/Long : 48.82525, 2.24118



## SECTEUR 2\_4 - 92100-BOULOGNE-KERMEN

Copropriété 39/41 rue Yves Kermen – R+5 – 92100 BOULOGNE-BILLANCOURT

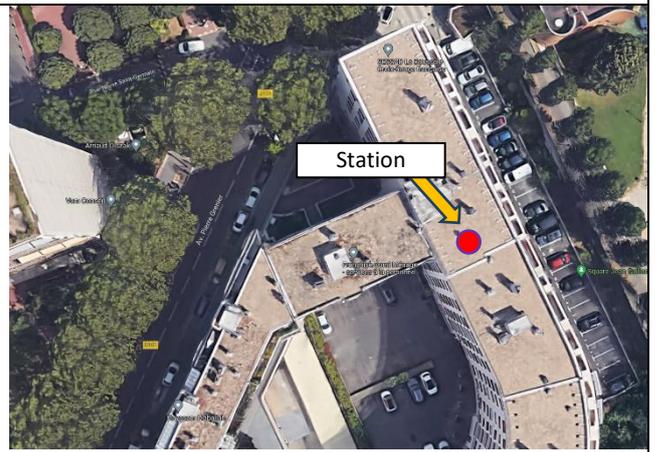
Lat/Long : 48.82667, 2.24309



# SECTEUR 2\_5 - 92100-BOULOGNE-GRENIER

Copropriété 14 avenue Pierre Grenier –bât D – R+7 – 92100 BOULOGNE-BILLANCOURT

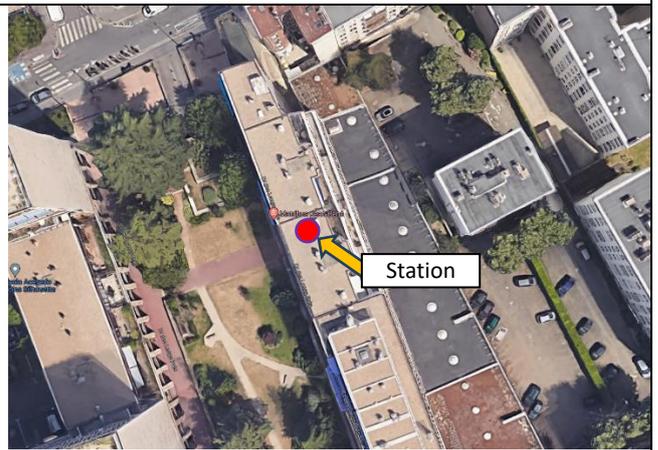
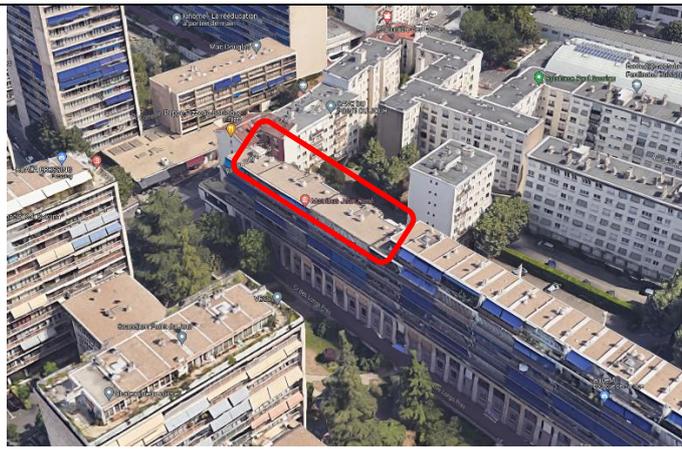
Lat/Long : 48.82608, 2.24967



# SECTEUR 2\_6 - 92100-BOULOGNE-LONGS-PRES

## 4 Cour des Longs Prés – 92100 BOULOGNE-BILLANCOURT

Lat/Long : 48.82883, 2.24856



### SECTEUR 3\_1 - 92130-ISSY-BAS-MEUDON

66 avenue du Bas Meudon – R+3 – 92130 ISSY LES MOULINEAUX

Lat/Long : 48.82185, 2.242133



### SECTEUR 3\_2 - 92130-ISSY-BONNIER

Copropriété Pont des Arts 4 allée Louis Bonnier – R+5 – 92130 ISSY LES MOULINEAUX

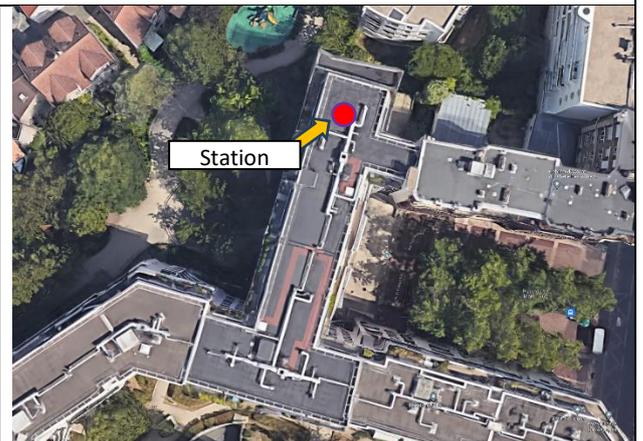
Lat/Long : 48.8233, 2.24736



# SECTEUR 4\_1 - 92130-ISSY-BESNARD

Copropriété Le Rabelais 6 rue Paul Besnard / Place du 19 mars 1962 – R+6 – 92130 ISSY LES MOULINEAUX

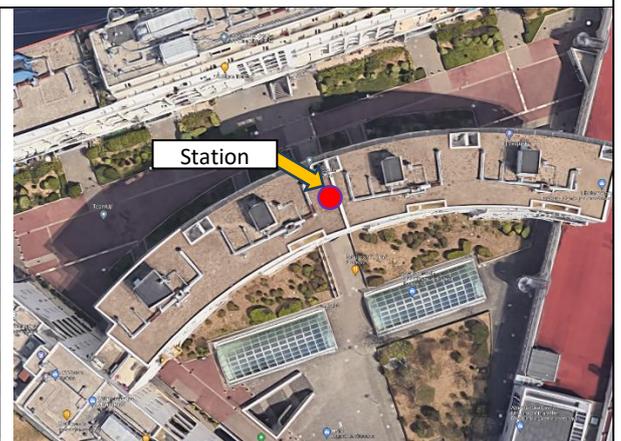
Lat/Long : 48.81875, 2.24881



# SECTEUR 5\_1 - 92130-ISSY-FOLLEREAU

## 4 Esplanade Raoul Follereau – R+7 – 92130 ISSY LES MOULINEAUX

Lat/Long : 48.82069, 2.25169



# SECTEUR 6\_1 - 92130-ISSY-CHAMP-CHARDON

Résidence Côté Jardin – 28/36 rue Champ Chardon – R+5 – 92130 ISSY LES MOULINEAUX

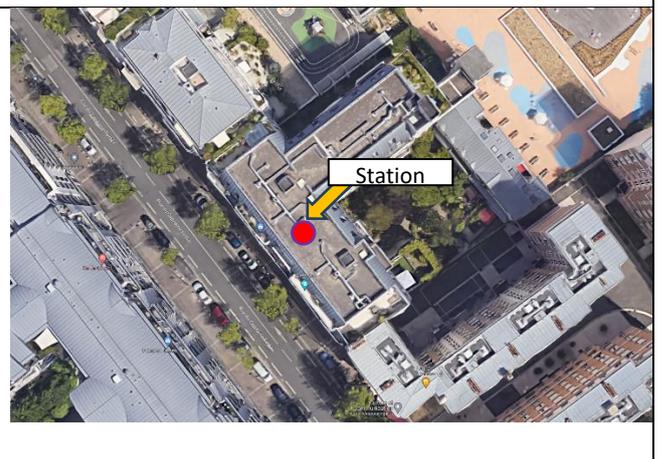
Lat/Long : 48.82347, 2.25571



# SECTEUR 7\_1 - 92130-ISSY-FERBER

Copropriété 5 rue du Capitaine Ferber – R+7 – 92130 ISSY LES MOULINEAUX

Lat/Long : 48.82646, 2.26579



# SECTEUR 7\_2 - 92130-ISSY-BERTEAUX

Copropriété 11 rue Maurice Berteaux – R+8 – 92130 ISSY LES MOULINEAUX

Lat/Long : 48.82907, 2.26683



# SECTEUR 8\_1 - 75015-PARIS-FRERES-VOISINS

32/34 allée des Frères Voisins – R+9 – 75015 PARIS

Lat/Long : 48.82904, 2.27112



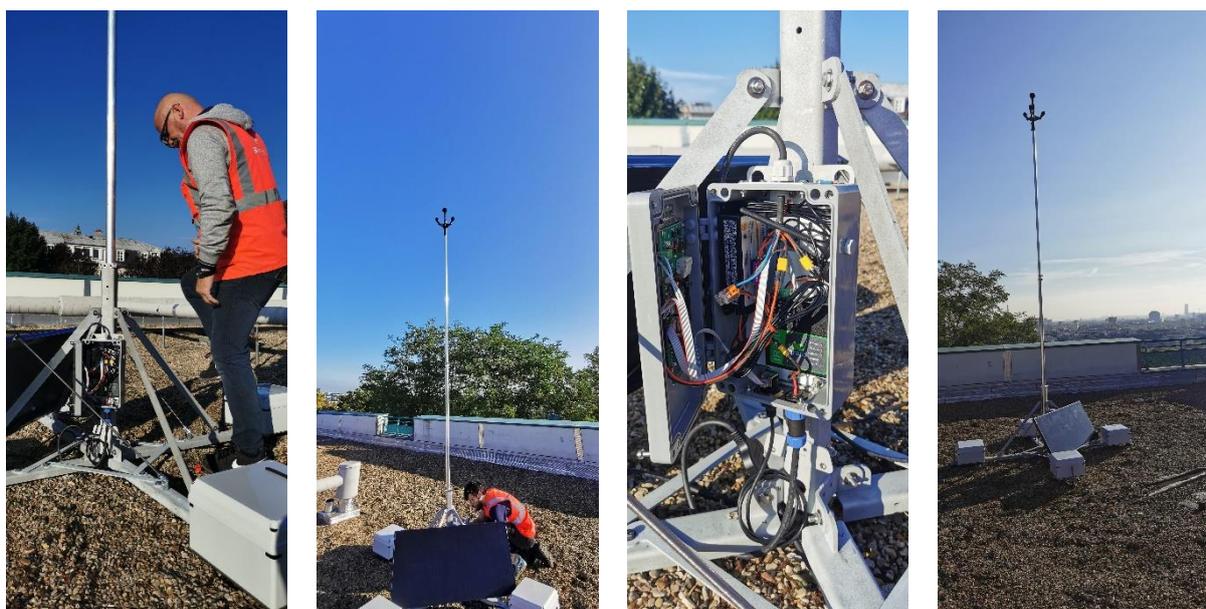
## Réalisation de la campagne de mesures

Les stations de mesure ont été installées entre le 29 août et le 5 septembre. En raison de difficultés liées à une autorisation d'installation, l'installation de la station sur le secteur 2\_6 a été réalisée un peu plus tard le 25 septembre. La campagne de mesures s'est terminée le 14 novembre 2023 inclus.

Secteur	Point	Nom du site	Date d'installation	Date de fin des mesures
Secteur 1	1_1	92190-MEUDON-BASSE-TERRASSE	mardi 29 août 2023	mardi 14 novembre 2023
Secteur 2	2_1	92100-BOULOGNE-ASKINAZI	mardi 29 août 2023	mardi 14 novembre 2023
Secteur 2	2_2	92100-BOULOGNE-ZOLA-B	mardi 29 août 2023	mardi 14 novembre 2023
Secteur 2	2_3	92100-BOULOGNE-BONTEMPS-B	jeudi 31 août 2023	mardi 14 novembre 2023
Secteur 2	2_4	92100-BOULOGNE-KERMEN	mardi 29 août 2023	mardi 14 novembre 2023
Secteur 2	2_5	92100-BOULOGNE-GRENIER	jeudi 31 août 2023	mardi 14 novembre 2023
Secteur 2	2_6	92100-BOULOGNE-LONGS-PRES	lundi 25 septembre 2023	mardi 14 novembre 2023
Secteur 3	3_1	92130-ISSY-BAS-MEUDON	jeudi 31 août 2023	mardi 14 novembre 2023
Secteur 3	3_2	92130-ISSY-BONNIER	vendredi 1 septembre 2023	mardi 14 novembre 2023
Secteur 4	4_1	92130-ISSY-BESNARD	jeudi 31 août 2023	mardi 14 novembre 2023
Secteur 5	5_1	92130-ISSY-FOLLEREAU	vendredi 1 septembre 2023	mardi 14 novembre 2023
Secteur 6	6_1	92130-ISSY-CHAMP-CHARDON	vendredi 1 septembre 2023	mardi 14 novembre 2023
Secteur 7	7_1	92130-ISSY-FERBER	mardi 5 septembre 2023	mardi 14 novembre 2023
Secteur 7	7_2	92130-ISSY-BERTEAUX	mardi 5 septembre 2023	mardi 14 novembre 2023
Secteur 8	8_1	75015-PARIS-FRERES-VOISINS	mardi 5 septembre 2023	mardi 14 novembre 2023

*Dates de début et de fin de mesure par site*

La période commune d'exploitation des données a été fixée sur intervalle de deux mois et demi soit 75 jours, **du 1<sup>er</sup> septembre au 14 novembre 2023 inclus**. A noter qu'il était prévu que cette campagne de mesures débute au 1<sup>er</sup> septembre, certaines stations ont dû être installées plus tard en raison d'indisponibilité des gestionnaires de bâtiments.

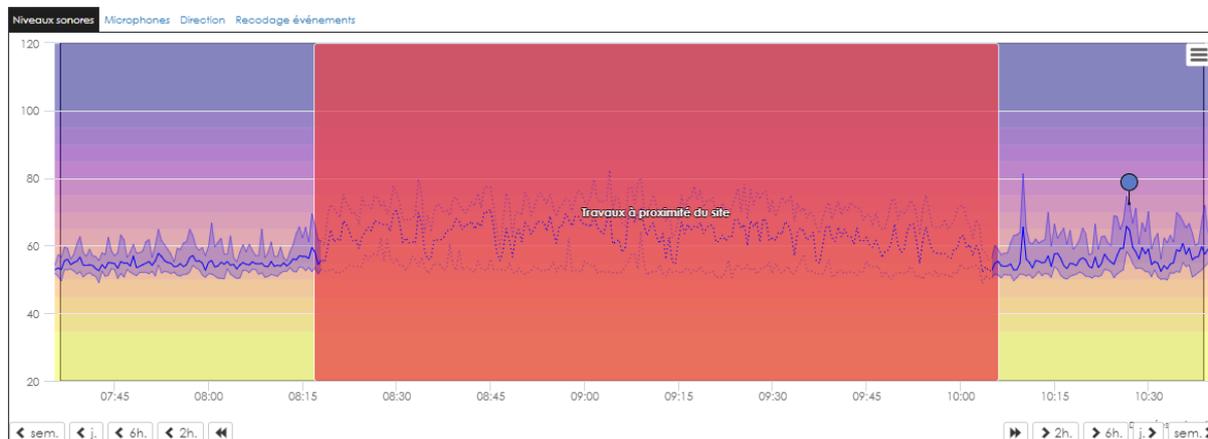


*Photos de mise en œuvre d'un système de mesure dans le cadre de MOTUS à Meudon (photos Bruitparif)*

## EXPLOITATION DES DONNEES

### Invalidation des données perturbées

Les périodes significativement perturbées ont été marquées et supprimées de l'analyse des données. Cette étape a pour objectif d'éliminer les périodes au cours desquelles des niveaux de bruit particuliers (travaux, événements météorologiques particuliers...) ont été suffisamment importants pour potentiellement masquer le bruit lié aux survols par des hélicoptères.



Exemple d'invalidation des données brutes sur le site 3\_1

Les indicateurs agrégés, par exemple à la journée, au mois ou sur la totalité de la mesure, sont calculés uniquement sur la durée pour laquelle les données sont exploitables.

### Bilan de fonctionnement des capteurs

Le tableau ci-dessous indique le nombre total de jours de fonctionnement et les taux de données exploitables disponibles après invalidation des données perturbées sur la période de mesure comprise entre le 1<sup>er</sup> septembre et le 14 novembre 2023 inclus. Les taux de disponibilités sont indiqués en proportion de la période totale de mesure (75 jours) et en proportion du nombre de jours de fonctionnement réel de la station (hors périodes au cours desquelles la station n'a pas fonctionné).

Secteur	Point	NOM DU SITE	Nombre total de jours de fonctionnement entre le 01/09 et 14/11/2023	Taux de disponibilité des données sur la totalité de la période entre le 01/09 et 14/11/2024	Taux de disponibilité des données sur la totalité de fonctionnement de la station entre le 01/09 et 14/11/2025	Nombre total de jours exploitables entre le 01/09 et 14/11/2023
Secteur 1	1_1	92190-MEUDON-BASSE-TERRASSE	75	99%	99%	74.0
Secteur 2	2_1	92100-BOULOGNE-ASKINAZI	75	99%	99%	74.0
Secteur 2	2_2	92100-BOULOGNE-ZOLA-B	75	98%	98%	73.6
Secteur 2	2_3	92100-BOULOGNE-BONTEMPS-B	75	99%	99%	74.1
Secteur 2	2_4	92100-BOULOGNE-KERMEN	75	99%	99%	74.3
Secteur 2	2_5	92100-BOULOGNE-GRENIER	75	99%	99%	74.3
Secteur 2	2_6	92100-BOULOGNE-LONGS-PRES	51	66%	97%	49.5
Secteur 3	3_1	92130-ISSY-BAS-MEUDON	75	99%	99%	74.2
Secteur 3	3_2	92130-ISSY-BONNIER	75	90%	96%	72.1
Secteur 4	4_1	92130-ISSY-BESNARD	75	99%	99%	74.0
Secteur 5	5_1	92130-ISSY-FOLLEREAU	75	98%	98%	73.4
Secteur 6	6_1	92130-ISSY-CHAMP-CHARDON	75	98%	98%	73.7
Secteur 7	7_1	92130-ISSY-FERBER	71	85%	97%	68.7
Secteur 7	7_2	92130-ISSY-BERTEAUX	71	93%	98%	69.7
Secteur 8	8_1	75015-PARIS-FRERES-VOISINS	71	93%	98%	69.8
<b>Moyenne sur l'ensemble des sites</b>			73	94%	98%	71

Les indicateurs agrégés sur l'ensemble de la période de mesure sont calculés sur le nombre total de jours exploitables sur la période comprise entre le 1er septembre et le 14 novembre 2023.

Les taux de fonctionnement des stations sur cette période sont compris entre 66 et 99%. Les taux de fonctionnement les plus faibles sont dus à une installation plus tardive de certains capteurs. Les taux de disponibilité des données, sur les périodes de fonctionnement des stations et après suppression des perturbations sonores significatives, sont compris entre 96 et 99%. La station ayant présenté le plus de perturbations sonores est celle du secteur 3\_1 sur l'Île-Saint-Germain, principalement en raison de travaux dans le secteur (travaux sur la pointe Est de l'Île Seguin et sur les quais de Seine à Boulogne).

Une table horaire de disponibilité des données a été fournie pour chaque site à AIRBUS. Ces données permettent l'agrégation des indicateurs événementiels « hélicoptères » par type de période (jour ouvrable, week-end) sur l'ensemble de la période de mesures.

## Détection des événements aériens

L'identification des événements sonores dus à des survols par des hélicoptères est assuré automatiquement par la station. Cette identification du bruit des aéronefs dans le bruit ambiant est réalisée en deux phases :

- Une détection d'un événement acoustique selon des conditions de dépassement de seuil acoustique ;
- Une classification de l'origine « aérienne » de l'événement sonore détecté à partir des données d'angle, et en particulier l'angle d'élévation.

### Détection d'événement acoustique

A ce stade, il s'agit de détecter un événement sonore ayant émergé significativement du bruit ambiant. Cette détection est opérée à partir des  $L_{Aeq,100}$  millisecondes mesurés par le capteur. Un lissage de cette courbe  $L_{Aeq}$  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) ;
- Un de fréquence de coupure de 0.01 Hz et d'ordre 1 (lissage lent).

Ce lissage permet de s'affranchir des fluctuations potentiellement fortes du niveau sonore instantané  $L_{Aeq,100ms}$  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  $L_{Amax}$  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.

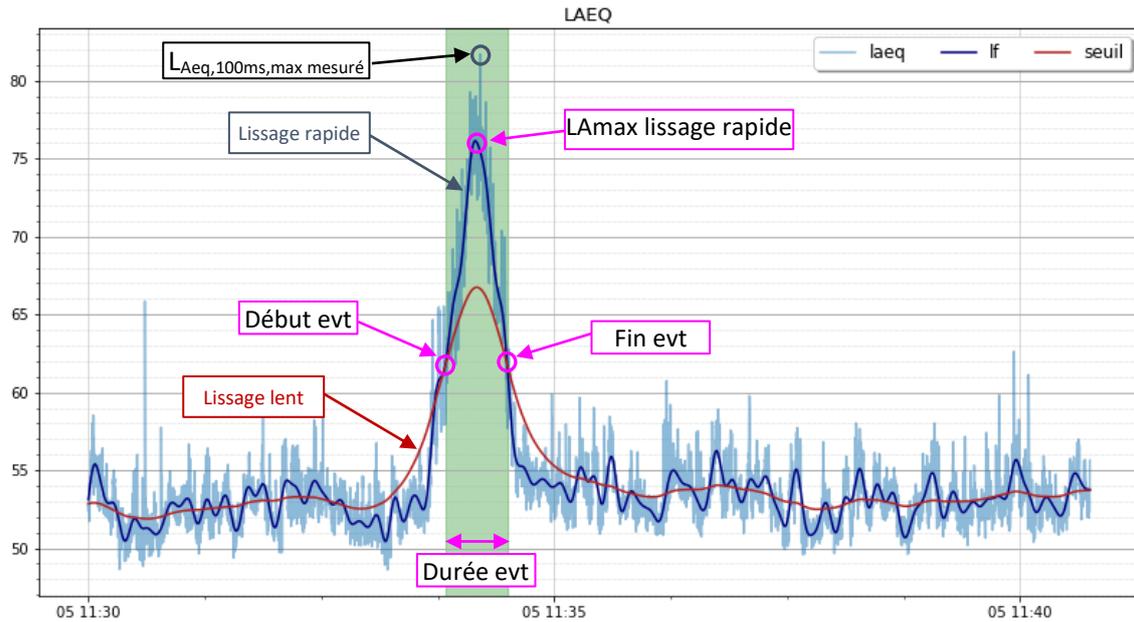
### Classification automatique de l'origine aérienne de l'événement

Une fois l'événement sonore détecté, la classification automatique de l'événement est opérée à partir des angles d'élévation déterminés par l'antenne à 4 microphones du capteur. L'angle d'élévation correspond à l'angle formé dans le plan vertical par la direction de provenance majoritaire du bruit et l'horizon. Cet angle est déterminé toutes les 100 millisecondes par le système de mesure.

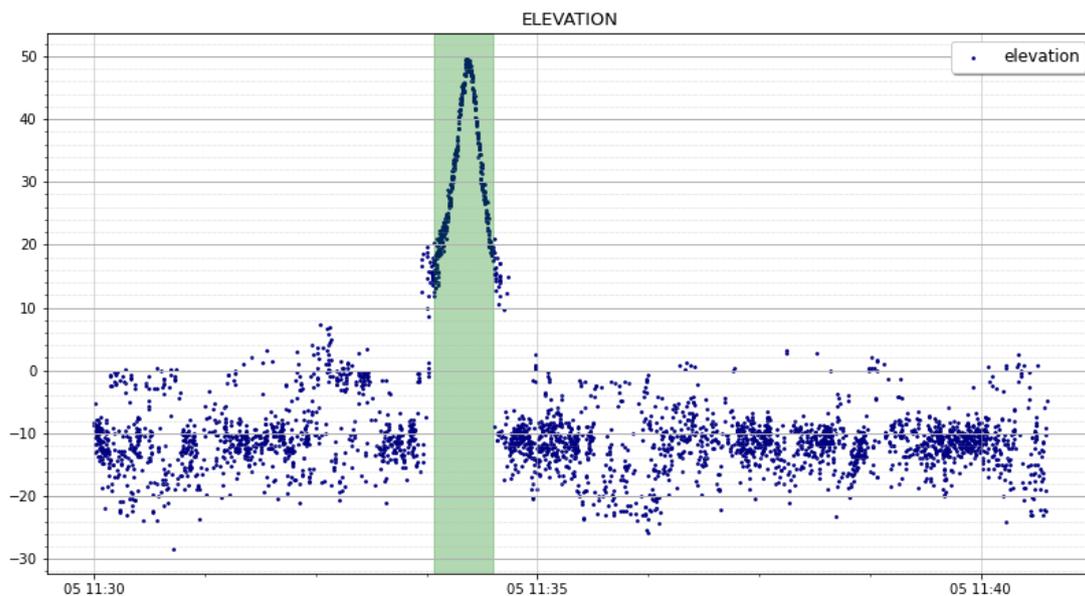
L'événement sonore est classé comme « aéronef » si, au cours de la durée d'apparition de l'événement, une proportion minimale de ces angles d'élévation dépasse un seuil donné. Par exemple, on pourra considérer que si 60% des angles d'élévation sont supérieurs à  $10^\circ$  au cours de sa durée totale d'apparition, l'événement sonore est classé « aéronef ». Ces paramètres sont ajustés en fonction de la typologie du site (hauteur du microphone par rapport au sol et caractéristiques des trajectoires).

Pour les besoins de l'étude Motus, les paramètres de détection d'événement acoustique (seuils, durées) et de classification automatique (taux et seuil d'angle d'élévation) ont été paramétrés de manière à être peu restrictifs et de manière à exclure assez peu d'événements, une validation manuelle étant ensuite réalisée sur une importante partie des événements pour s'assurer de leur origine « aérienne ».

Les figures ci-dessous illustrent un exemple de détection d'événement sonore aérien.



Exemple de détection d'événement sonore sur le site 1\_1 – Evolution temporelle du  $L_{Aeq,100ms}$  et des courbes lissées



Exemple de détection d'événement sonore sur le site 1\_1 – Evolution temporelle de l'angle d'élevation (100ms)

Les différents paramètres ont été ajustés selon les sites comme l'indique le tableau ci-dessous.

Secteur	Point	NOM DU SITE	Durée maximale (secondes)	Durée minimale (secondes)	LAmix minimal (dBA)	Ecart de niveau entre LAmix lissé et niveau à start_end evt (dB)	Seuil angle d'élevation (°)	Taux minimal d'angles d'élevation au-dessus du seuil (%)
Secteur 1	1_1	92190-MEUDON-BASSE-TERRASSE	10	90	50	5	10	20
Secteur 2	2_1	92100-BOULOGNE-ASKINAZI	10	90	50	5	10	20
Secteur 2	2_2	92100-BOULOGNE-ZOLA-B	10	90	50	3	10	20
Secteur 2	2_3	92100-BOULOGNE-BONTEMPS-B	10	90	50	5	10	20
Secteur 2	2_4	92100-BOULOGNE-KERMEN	10	90	50	3	10	10
Secteur 2	2_5	92100-BOULOGNE-GRENIER	10	90	50	5	10	20
Secteur 2	2_6	92100-BOULOGNE-LONGS-PRES	10	90	50	6	5	30
Secteur 3	3_1	92130-ISSY-BAS-MEUDON	10	90	50	5	5	5
Secteur 3	3_2	92130-ISSY-BONNIER	10	90	50	5	10	20
Secteur 4	4_1	92130-ISSY-BESNARD	10	90	50	5	10	20
Secteur 5	5_1	92130-ISSY-FOLLEREAU	10	90	50	3	0	1
Secteur 6	6_1	92130-ISSY-CHAMP-CHARDON	10	90	50	5	10	20
Secteur 7	7_1	92130-ISSY-FERBER	10	90	50	3	0	20
Secteur 7	7_2	92130-ISSY-BERTEAUX	10	90	50	5	10	20
Secteur 8	8_1	75015-PARIS-FRERES-VOISINS	10	120	50	5	0	20

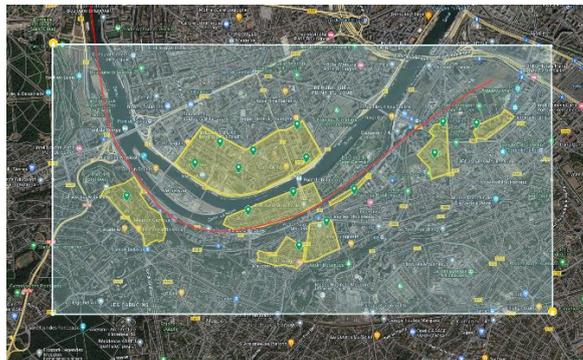
Paramètres de détection et de classification automatique d'événement sonore aérien

## Validation des événements aériens

Les événements sonores aériens détectés automatiquement ont fait l'objet de vérifications manuelles. Ces vérifications ont été principalement réalisées sur les événements sonores aériens détectés pour lesquels il n'existait pas de trace radar simultanée. Dans le cadre d'une convention d'échange de données avec la Direction Générale de l'Aviation Civile (DGAC), Bruitparif dispose de données radar sur l'ensemble de l'Île-de-France. Ces données radar comprennent un « plot radar » produit toutes les 4 secondes avec pour chaque aéronef associé l'horodatage du « plot », son altitude et les coordonnées X/Y en Lambert93. Des informations relatives au type d'aéronef, à sa provenance et à sa destination sont disponibles mais uniquement pour les avions des grands aéroports (Paris-CDG, Orly et le Bourget).

Les données radar ont été filtrées pour ne conserver que les plots compris dans une zone limitée centrée sur la zone d'étude.

Les données radar et les événements acoustiques détectés ont ensuite été associés temporellement. L'heure du LAmax de l'événement est associée au plot radar le plus proche en distance oblique et en différence de temps. Les événements sonores aériens ne trouvant pas de correspondance avec une trace radar à moins de 30 secondes sont filtrés pour être vérifiés manuellement.

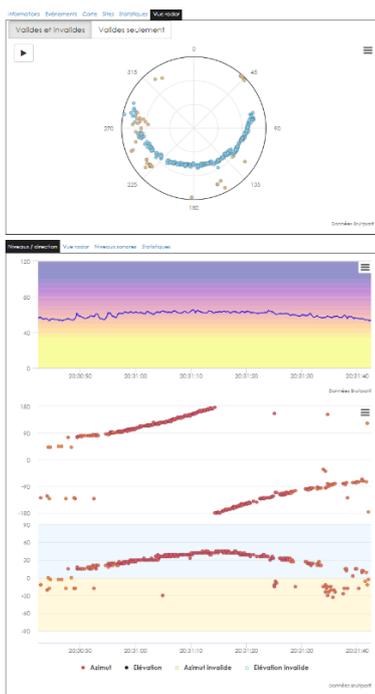


Zone de filtrage des données radar

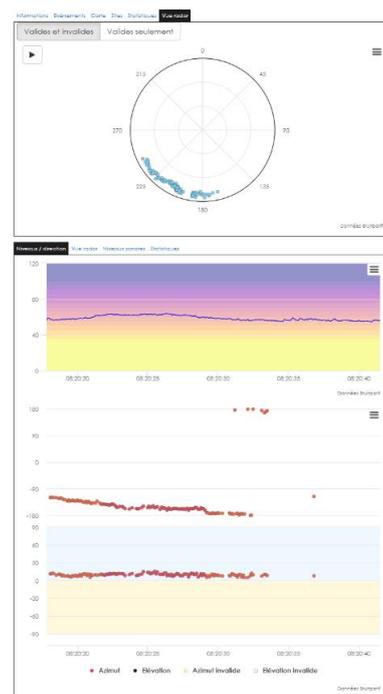
Les vérifications manuelles sont réalisées sur visualisation de l'évolution temporelle du niveau de bruit mesuré et sur vue radar de la trace acoustique.

La conservation ou l'invalidation de l'origine « hélicoptère » de l'événement est arbitrée selon l'allure de la trace radar déterminée d'un point de vue acoustique (cohérence avec les trajectoires théoriques) et selon le contexte acoustique au moment de la détection (régularité du profil temporel, autres sources sonores probables etc...).

Les figures ci-contre illustrent deux exemples. Dans le cas 1, il n'y a pas de trace radar simultanée à l'événement. Néanmoins la trace acoustique provient du ciel et elle cohérente avec la trajectoire moyenne, l'événement est conservé. Dans le cas 2, l'événement n'a pas de trace radar associée et la trace acoustique n'est pas cohérente avec la trajectoire théorique, l'événement est invalidé.



Site 1\_1, cas 1, exemple d'événement sonore détecté conservé aérien sans correspondance radar



Site 1\_1, cas 2, exemple d'événement sonore détecté aérien sans correspondance radar et invalidé

Ce processus a montré que certaines traces radar semblaient manquer dans l'extraction issue de la DGAC. Il est également apparu que certaines traces radar n'étaient pas disponibles dans un rayon proche de l'héliport.

## INDICATEURS DE BRUIT

### Indicateurs énergétiques

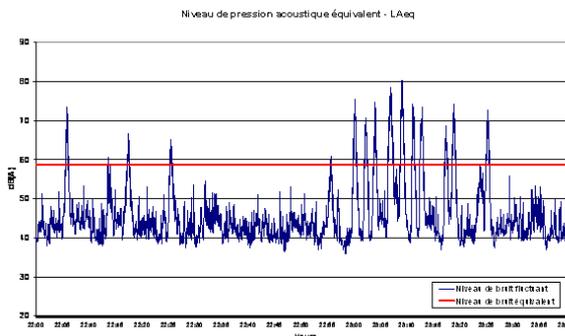
Un niveau sonore équivalent LAeq peut être calculé sur n'importe quelle période T. Le niveau LAeq(T) correspond alors au niveau de bruit constant qui aurait été produit avec la même énergie que le bruit existant réellement pendant la période T considérée. Il exprime la moyenne de l'énergie reçue au cours d'une période :

$$LAeq(T) = 10 \log_{10} \left( \frac{1}{T} \int_T \frac{P^2(t)}{P_0^2} . dt \right)$$

avec : P(t) = pression acoustique instantanée

P<sub>0</sub> = pression de référence correspondant au seuil d'audibilité soit 2.10<sup>-5</sup> Pa

La figure ci-contre 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.



Evolution temporelle du niveau de bruit et niveau continu équivalent.

Les niveaux sonores équivalents sont calculés pour les périodes suivantes :

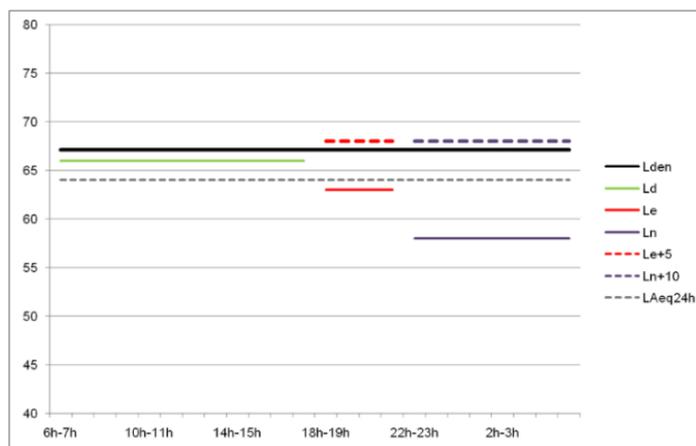
- Pour la période jour, entre 6h et 18h : LAeq jour (6-18h).
- Pour la période soirée, entre 18h et 22h : LAeq soirée (18-22h).
- Pour la période nuit, entre 22h et 6h : LAeq nocturne (22-6h).
- Pour la période de nuit, entre 22h et 6h.
- Pour la totalité de la journée, sur 24h : LAeq (24h).

L'indicateur Lden (pour Level day-evening-night) représente le niveau de bruit moyen pondéré au cours de la journée en donnant un poids plus fort au bruit produit en soirée (18-22h) (+ 5 dB(A)) et durant la nuit (22h-6h) (+10 dB(A)) pour tenir compte de la sensibilité accrue des individus aux nuisances sonores durant ces deux périodes.

Cet indicateur s'exprime donc ainsi :

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

Le graphique suivant fournit un exemple illustré de calcul du Lden à partir des valeurs de LAeq sur les trois périodes (jour, soir, nuit).



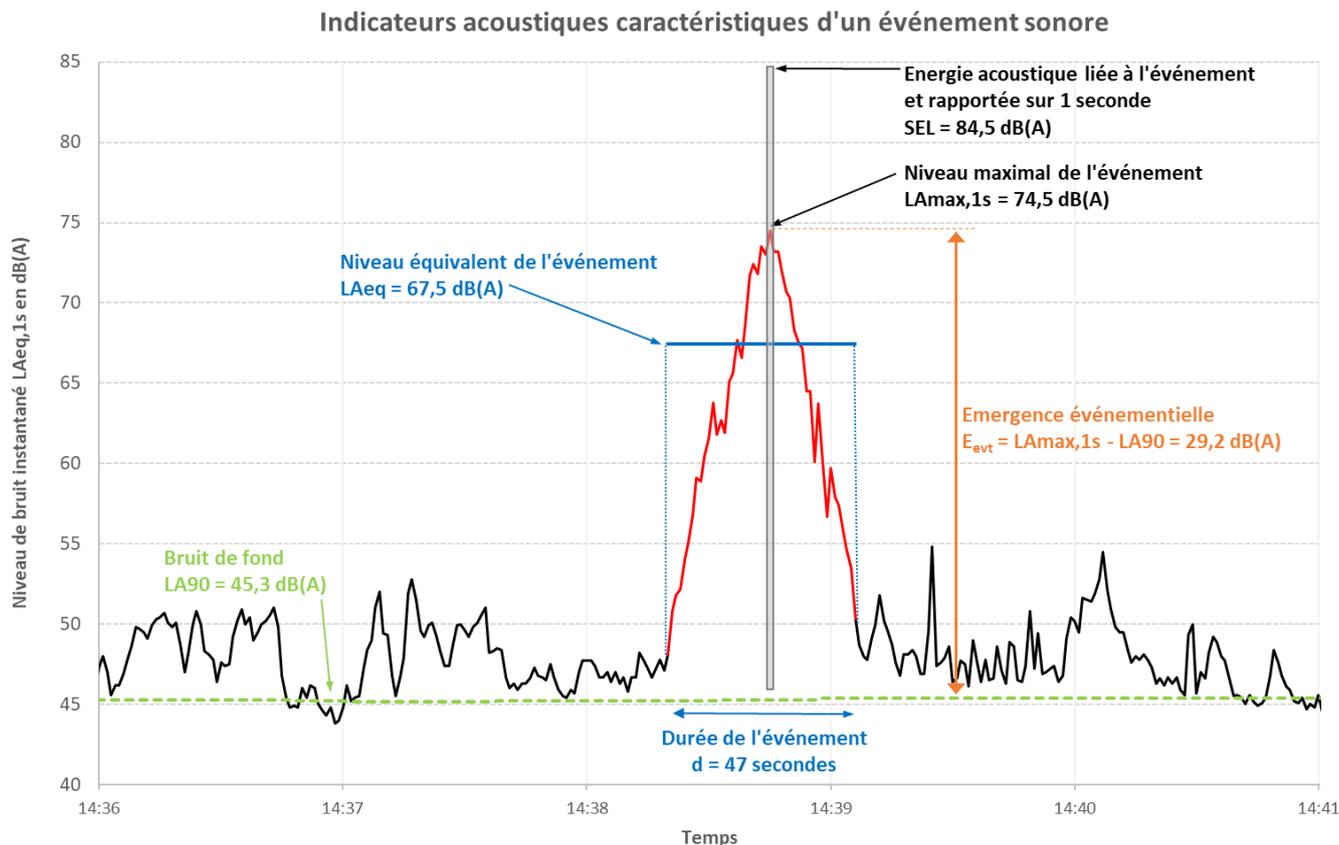
Exemple de calcul de Lden

L'indicateur  $L_n$  (pour Level night) correspond au niveau de bruit moyen équivalent au cours de la période de nuit (22h-6h).

Ces indicateurs énergétiques ( $LA_{eq}(T)$  et  $L_{den}$ ) peuvent être calculés pour le bruit ambiant (c'est-à-dire pour toutes les sources de bruit présentes dans l'environnement) ou pour une seule source de bruit (ici pour le trafic aérien), ce qui nécessite d'arriver à isoler la contribution de cette source. On les note alors  $LA_{eq}$  aérien et  $L_{den}$  aérien. Les niveaux de bruit ayant été aussi mesurés avec la pondération fréquentielle « C ». Les indicateurs énergétiques pourront être calculés en niveau global pondéré C ( $LC_{eq}$ ).

### Indicateurs événementiels

Une fois les événements sonores aériens détectés, différents indicateurs acoustiques ont été calculés sur la durée d'apparition de chaque survol d'hélicoptère détecté. La figure ci-dessous illustre les indicateurs acoustiques produits.



Un indicateur exploratoire spécifique de Bruitparif a également été fourni : le NPC pour Noise Point Counter. Il s'agit d'un indicateur à points proposé par Bruitparif dans le cadre des groupes de travaux du Conseil National du Bruit sur les pics de bruit ferroviaires et aériens.

#### Indicateur NPC (Noise Point Counter) :

Le calcul de cet indicateur s'effectue en deux étapes principales :

**Etape 1 :** Affectation à chaque pic de bruit d'un nombre de points (NP) à partir du calcul d'un indicateur unitaire.

La conversion de la valeur SEL du pic de bruit en points (NP) en utilisant la règle d'équivalence physiologique (phone  $\rightarrow$  sone). Cette règle d'équivalence physiologique repose sur le principe qu'il faut une variation de 10 dB entre deux sons pour avoir une sensation auditive de deux fois plus ou deux fois moins de bruit.

$$NP = 2^{(SEL - SEL_{réf})/10}$$

Pour le calcul, il est proposé de prendre comme  $SEL_{réf}$  la valeur de 65 dB(A) lorsque le bruit est mesuré à l'extérieur des logements. S'il est mesuré à l'intérieur, la valeur  $SEL_{réf}$  pourrait être prise à 40 dB(A).

La prise en compte de cette règle d'équivalence physiologique introduit un changement important par rapport à la règle d'équivalence énergétique qui est implicitement prise en compte dans le calcul des indicateurs énergétiques. Ainsi, alors qu'à l'heure actuelle, un pic de bruit de 70 dB(A) équivaut à deux pics de bruit à 67 dB(A), l'équivalence serait désormais de deux pics de bruit à 60 dB(A) pour un pic de bruit à 70 dB(A), dans le calcul du nouvel indice proposé. Cette règle proposée par Bruitparif est inspirée des travaux de psychoacoustique qui ont été menés sur la sonie (unité : phone) dans les années 30 ainsi que sur la bruyance. Il s'agit d'une grandeur définie par Kryter dans les années 60-70, qui permet de chiffrer la manière dont un son est accepté ou toléré par un auditeur. L'unité de bruyance est le noy. Un son de 8 noys est deux fois plus gênant qu'un son de 4 noys, et inversement.

**Etape 2 :** Comptabilisation du nombre d'événements sonores affectés du nombre de points calculés à l'étape 1 par période jour/soir/nuit (NPC\_d, NPC\_e et NPC\_n), ainsi que d'un compteur agrégé en utilisant un jeu de pondérations par période d'apparition (jour, soir, nuit). Il est proposé d'utiliser les mêmes pondérations entre périodes que dans le calcul actuel du Lden.

$$\begin{aligned} NPC_d &= \sum_{i=1}^{Nd} NPi \\ NPC_e &= \sum_{i=1}^{Ne} NPi \\ NPC_n &= \sum_{i=1}^{Nn} NPi \end{aligned}$$

Avec Nd, Ne, Nn représentent respectivement le nombre de pics de bruit identifiés au cours de la période jour (d pour day), soir (e pour evening) et nuit (n pour night).

$$NPC_{den} = NPC_d + 3,16 * NPC_e + 10 * NPC_n$$

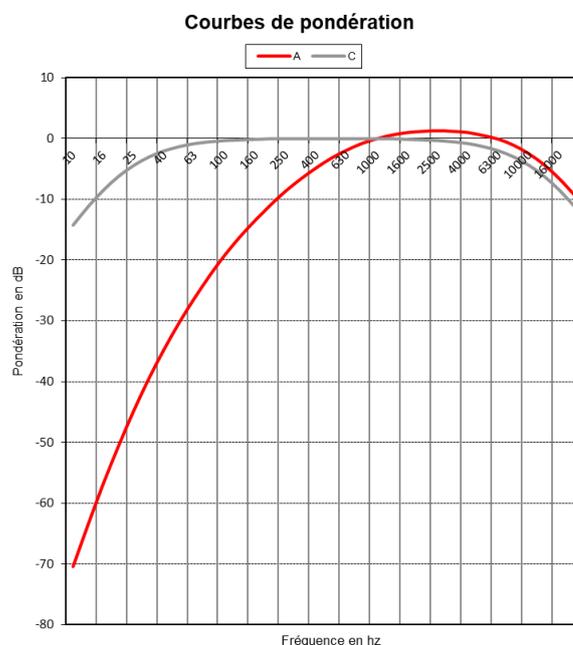
**Remarque :** il pourrait être envisagé de tenir compte également de pondérations pour distinguer, par exemple, les jours ouvrables des jours de week-end, ainsi que les saisons hiver et été, où les aspirations des riverains en matière d'environnement sonore sont susceptibles de varier.

### Pondérations fréquentielles :

Les grandeurs élémentaires mesurées sont le  $L_{Aeq,100ms}$  et le  $L_{Ceq,100ms}$ . Il s'agit des niveaux sonores équivalents exprimés en décibels pondérés A, notés dB(A) et en décibels pondérés C, notés dB(C), relevés au pas de temps de 100 millisecondes. Ils intègrent une pondération tenant compte de la différence de sensibilité de l'oreille humaine aux différentes fréquences : pour une même énergie sonore, l'oreille perçoit les sons de moyenne (200 à 2000 Hz) et haute fréquence (2 kHz à 20 kHz) comme plus forts que ceux de basse fréquence (20 à 200 Hz).

La pondération C, utilisée pour les niveaux sonores plus importants donne plus de poids aux basses fréquences.

Les niveaux de bruit ont ici été mesurés avec les pondérations fréquentielles A et C. Les indicateurs, qu'ils soient énergétiques ou événementiels, pourront donc être calculés pour ces deux pondérations.



Une table des événements sonores aériens associés aux survols d'hélicoptères a été fournie à AIRBUS Helicopters. Cette table comprenait les indicateurs fournis dans le tableau ci-après.

Indicateur	Description	Observations
start_evt	Date et heure de début d'événement en heure locale	
end_evt	Date et heure de fin d'événement en heure locale	
duree_evt	Durée totale de l'événement en secondes	
Tmax_1s	Date et heure du LAeq,1s max (en heure locale)	
BGN_A	Back Ground Noise LA90	LA90 dans les 10 minutes précédant le début de l'événement (start_evt)
BGN_C	Back Ground Noise LC90	LC90 dans les 10 minutes précédant le début de l'événement (start_evt)
LAmx_1s	Niveau Leq 1 seconde max en dB(A)	Max Leq,1seconde sur la moyenne glissante des LAeq 100 ms
LCeq_1s_max	Niveau Leq 1 seconde max en dB(C)	Max Leq,1seconde sur la moyenne glissante des LCeq 100 ms
SEL_A	Niveau d'exposition sonore sur la durée totale de l'événement en dB(A)	
SEL_C	Niveau d'exposition sonore sur la durée de l'événement en dB(C)	
LAeq_evt	Niveau moyen sur la durée totale de l'événement en dB(A)	
LCeq_evt	Niveau moyen sur la durée totale de l'événement en dB(C)	
NPC_A	Noise Point Counter en dB(A) sur la durée totale de l'événement	$NPC \Rightarrow 2^{((SEL\_A-65dB)/10)}$ (conversion du SEL en base 2 => un doublement du NPC correspond à SEL +10 dB)
NPC_C	Noise Point Counter en dB(C) sur la durée totale de l'événement	$NPC \Rightarrow 2^{((SEL\_C-65dB)/10)}$ (conversion du SEL en base 2 => un doublement du NPC correspond à SEL +10 dB)
emergence_A	Différence entre le LAeq,1s max et le LA90 dans les 10 minutes qui ont précédé le début de l'événement	Attention valeur spécifique au site, n'est pas extrapolable aux participants
emergence_C	Différence entre le LCeq,1s et le LC90 dans les 10 minutes qui ont précédé le début de l'événement	Attention valeur spécifique au site, n'est pas extrapolable aux participants
type_period	Période de la journée au cours de laquelle l'événement est apparu (jour-soir-nuit)	jour = 6h-18h, soir = 18h-22h, nuit = 22h-6h
type_jour	Type de jour au cours de laquelle l'événement est apparu (jour-soir-nuit)	jour ouvrable = du lundi 6h00 au vendredi 18h00, week-end = du vendredi 18h00 au lundi 6h00
Secteur	Numéro du secteur d'étude MOTUS	
Point	Numéro du point Motus	
ID RUMEUR	Nom de l'identifiant du site de mesure selon nomenclature Bruitparif	
clefvol4	Numéro d'identification radar fourni par la DGAC (clé vol aléatoire), quand association possible	
distance_sol_metres	Distance projetée au sol entre le site de mesure et l'aéronef (passage au plus proche), quand association possible	
altitude_metres_mer	Altitude de l'aéronef par rapport au niveau de la mer (passage au plus proche), quand association possible	

Liste des indicateurs acoustiques relatifs aux événements sonores hélicoptères fournie à AIRBUS pour Motus

### Indicateurs globaux par périodes

Des indicateurs globaux ont été calculés par participant, sur la base des événements sonores aériens mesurés sur les 15 sites de mesures, corrigés au moyen des offset de propagation évalués par modélisation numérique du bruit des hélicoptères. Ces indicateurs ont été calculés sur les **périodes de journée (6h-18h), de soirée (18h-22h), de nuit (22h-6h), journée complète (24 heures)**, ainsi que par type de jour : **tous types de jours confondus, jours ouvrés** (du lundi 6 heures au vendredi 18 heures) et **week-end** (du vendredi 18 heures au lundi 6 heures). Ces indicateurs comprennent :

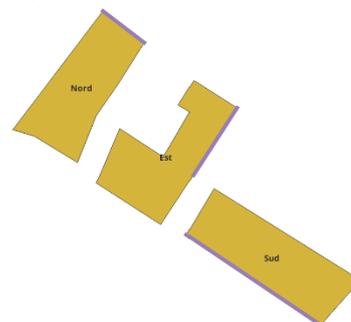
- La **contribution sonore énergétique du bruit des hélicoptères**, aussi appelée Leq, partiel en dB(A) et en dB(C),
- La **distribution par plages de 1 dB des indicateurs Lmax, Leq,evt, SEL, émergences événementielle** en dB(A) et en dB(C),
- La **somme des NPC moyennée par périodes**,
- Le nombre total d'événements sonores hélicoptères détectés (disponible également via les distributions).

## EVALUATION DU BRUIT ROUTIER

Les mesures de bruit réalisées en toiture de bâtiments ne sont pas représentatives de l'exposition réelle des participants à l'enquête. Afin d'évaluer le niveau de bruit, hors hélicoptères, en façade du logement de chaque participant, il a été convenu de procéder par modélisation du bruit routier à partir des données d'entrée des cartes de bruit stratégiques d'échéance 4 produites dans le cadre de la Directive Européenne 2002/49/CE. Ces cartes de bruit étant réalisées à une hauteur de 4 mètres par rapport au sol, il a été nécessaire de relancer un calcul pour tenir compte de l'âge auquel chaque participant réside.

### Géolocalisation des participants

Une première opération a consisté à géolocaliser la façade correspondant au séjour de chaque participant. Il a été demandé à l'institut de sondage de relever, lors du questionnaire, les coordonnées GPS du bâtiment, l'étage de résidence du participant, le nombre total d'étages dans le bâtiment ainsi que l'orientation de la façade du séjour par rapport aux points cardinaux (nord, nord-ouest etc...). A noter que l'institut de sondage n'a pas accepté de réaliser un relevé GPS sur le terrain de géolocalisation de la façade principale des participants.



Géolocalisation de la façade

Bruitparif a géolocalisé un point à 2 mètres en avant de la façade du participant à partir des données fournies (géolocalisation du bâtiment et orientation de la façade) au moyen d'un outil SIG.

Des vérifications et des relocalisations manuelles ont dues être apportées.

Les données de géolocalisation des participants ont été transmises à AIRBUS pour la réalisation des cartes de bruit liées aux survols d'hélicoptères destinées au recalage des mesures.

### Evaluation du bruit routier en façade des participants

Une carte de bruit routier a été calculée à 2 mètres en avant de la façade principale de chaque participant en prenant en compte l'étage de résidence du participant.

Cette carte a été établie à partir des trafics routiers utilisés pour les cartes de bruit stratégiques d'échéance 4.

Les indicateurs produits sont :

- le Lday : niveau sonore moyen entre 6 heures et 18 heures
- le Levening : niveau sonore moyen entre 18 heures et 22 heures
- le Lnight : niveau sonore moyen entre 22 heures et 6 heures
- Le Lden : niveau sonore global pondéré calculé selon la formule

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

Ces niveaux de bruit routier sont destinés à être assimilés au bruit résiduel hors hélicoptères. Ils permettront de calculer une émergence événementielle au survol d'hélicoptère en soustrayant ce niveau de bruit routier au L<sub>Amax</sub> de l'événement sonore hélicoptère :

Emergence événementielle = L<sub>Aeq1s,max</sub> – L<sub>Aeq,route</sub> (day/evening/night selon heure du survol)

## RESULTATS SUR LA PERIODE DE MESURE

### Evènements sonores détectés par rapport au trafic aérien

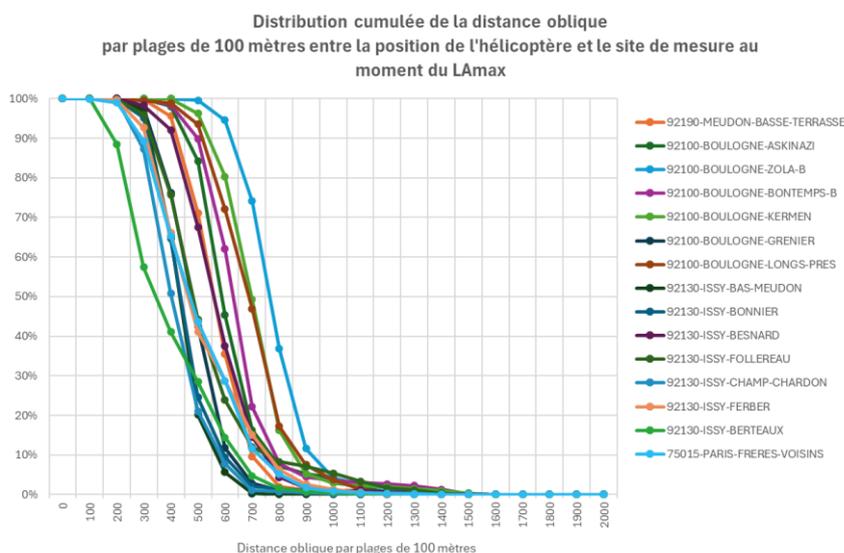
Le nombre d'évènements sonores aériens liés aux hélicoptères détectés par les capteurs méduses après validation a été comparé au nombre de vols associés à des hélicoptères figurant dans les relevés radar de la DGAC dans la zone d'étude.

La comparaison des évènements sonores avec le trafic aérien est délicate car différents facteurs, pour certains inconnus et non maîtrisés, influent sur l'impact acoustique au sol de l'hélicoptère et sur sa détection, ou non, par le système de mesure. Il s'agit de facteurs liés au bruit émis par l'hélicoptère (modèle d'appareil, procédure de vol, conditions de pilotage, masse etc...), aux facteurs affectant la propagation du son au moment du survol (distance, altitude, effets de sol et des bâtiments sur le chemin de propagation, conditions météorologiques) et à l'environnement sonore sur site au moment du survol (bruit ambiant principalement). La détection des évènements sonores est, de plus, possible à la condition que l'émergence vis-à-vis du bruit de fond soit significative (au moins 5 à 6 dB(A) au minimum, les normes de mesure recommandant parfois une émergence minimale de 10 dB(A) par rapport au bruit de fond).

Afin d'évaluer le rayon dans lequel les survols d'hélicoptères sont susceptibles d'impacter le site de mesure, la distribution des distances obliques (distance directe entre le survol et le site de mesure) a été calculée pour les évènements sonores hélicoptères détectés par les stations de mesure.

La figure ci-contre présente ainsi la distribution cumulée de ces distances (entre l'hélicoptère et le site de mesure au moment du LAmix de l'évènement acoustique détecté).

Si l'on considère l'ensemble des sites de mesure, les distances séparant les survols des capteurs sont comprises entre 200 et 1 500 mètres et environ 95% des survols détectés sont passés à moins de 1 100 mètres des sites de mesure.



95% des évènements  
hélicoptères sont passées  
à moins de : (en mètres)

1_1	92190-MEUDON-BASSE-TERRASSE	740
2_1	92100-BOULOGNE-ASKINAZI	936
2_2	92100-BOULOGNE-ZOLA-B	985
2_3	92100-BOULOGNE-BONTEMPS-B	858
2_4	92100-BOULOGNE-KERMEN	901
2_5	92100-BOULOGNE-GRENIER	666
2_6	92100-BOULOGNE-LONGS-PRES	953
3_1	92130-ISSY-BAS-MEUDON	607
3_2	92130-ISSY-BONNIER	643
4_1	92130-ISSY-BESNARD	786
5_1	92130-ISSY-FOLLEREAU	1017
6_1	92130-ISSY-CHAMP-CHARDON	625
7_1	92130-ISSY-FERBER	824
7_2	92130-ISSY-BERTEAUX	691
8_1	75015-PARIS-FRERES-VOISINS	800

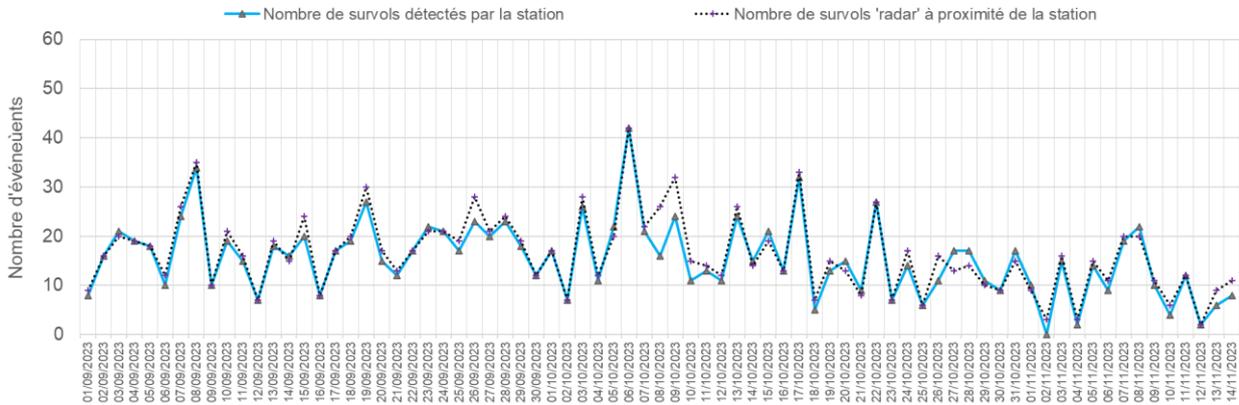
Le tableau ci-contre présente les distances correspondant à 95% des évènements sonores hélicoptères détectés.

Par exemple, 95% des évènements sonores hélicoptères sont passés à moins de 740 mètres du site de Meudon-Basse-Terrasse.

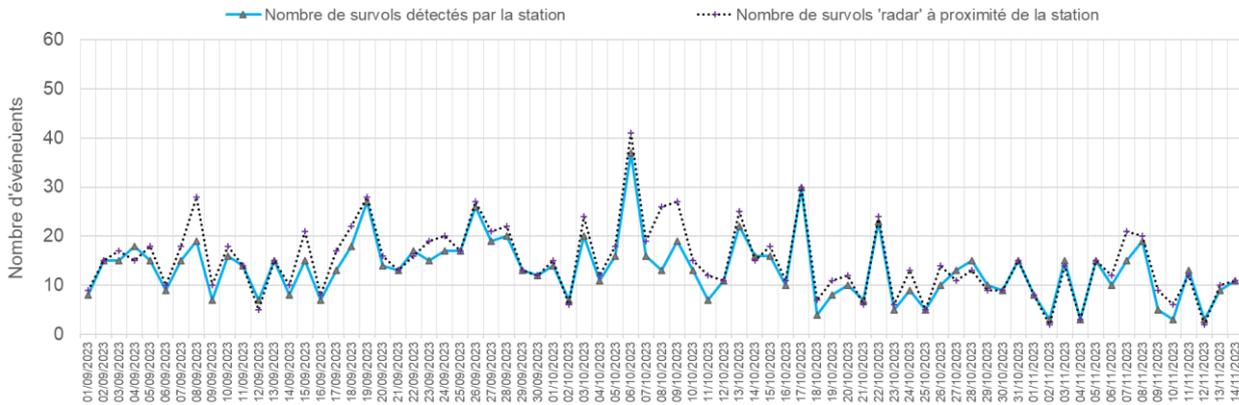
Ces distances ont été utilisées pour la comparaison du nombre d'évènements aériens détectés par jour avec le nombre de circulations fournies dans les données radar.

Les figures qui suivent indiquent le nombre d'événements sonores hélicoptères détectés par jour par la station de mesure, ainsi que le nombre de survols hélicoptères, figurant dans les données radar, ayant circulé à proximité du site (distance correspondant à 95% des événements détectés d'un point de vue acoustique).

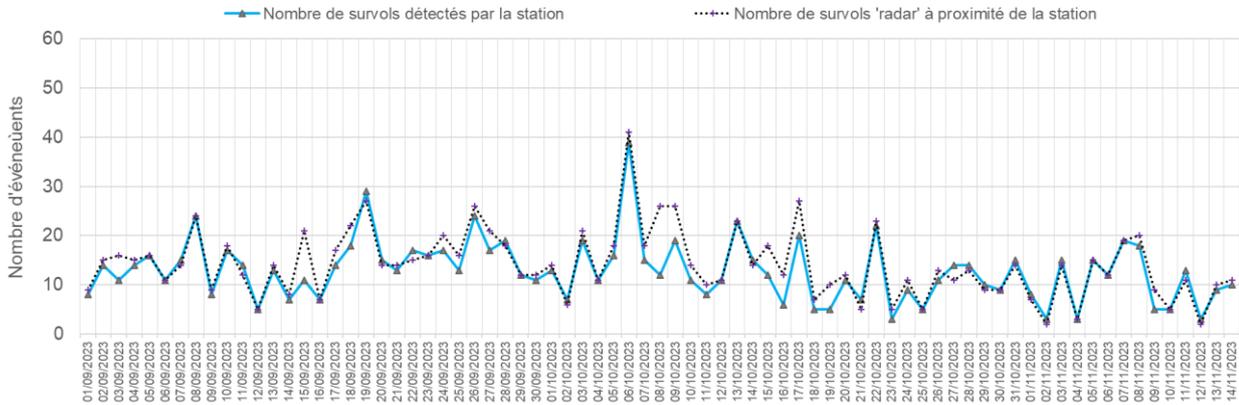
**1\_1 - 92190-MEUDON-BASSE-TERRASSE**



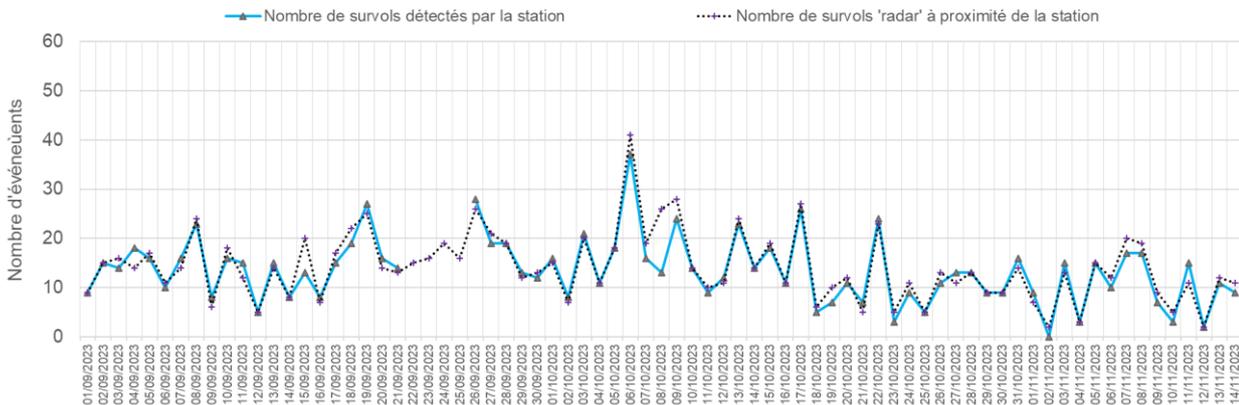
**2\_1 - 92100-BOULOGNE-ASKINAZI**



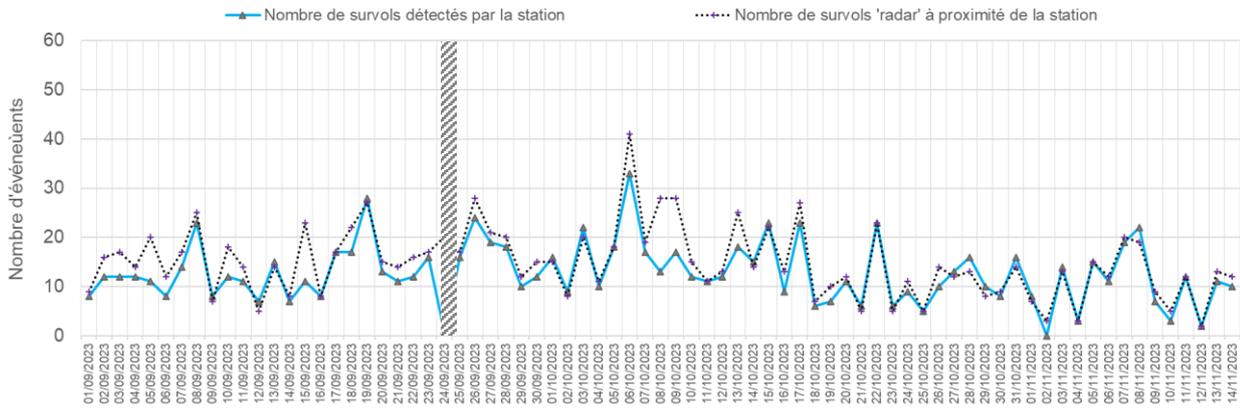
**2\_2 - 92100-BOULOGNE-ZOLA-B**



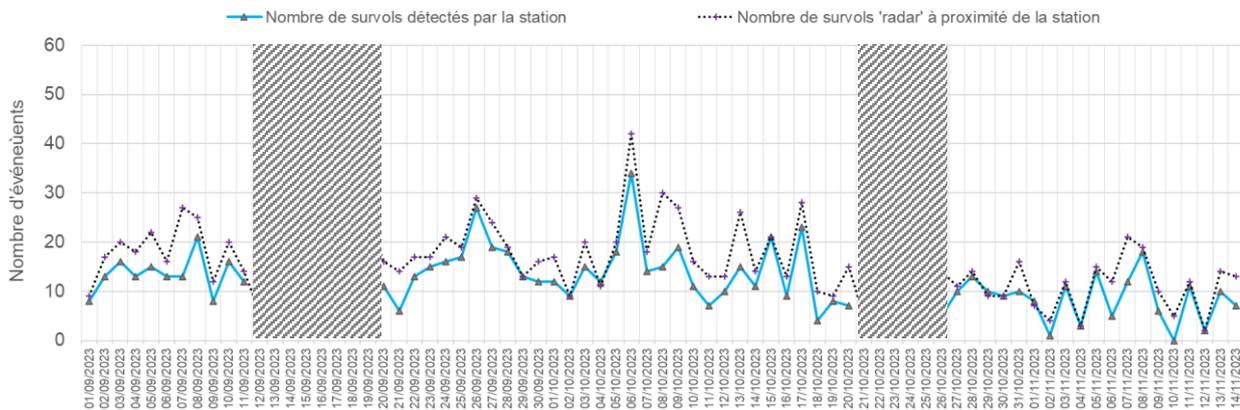
**2\_3 - 92100-BOULOGNE-BONTEMPS-B**



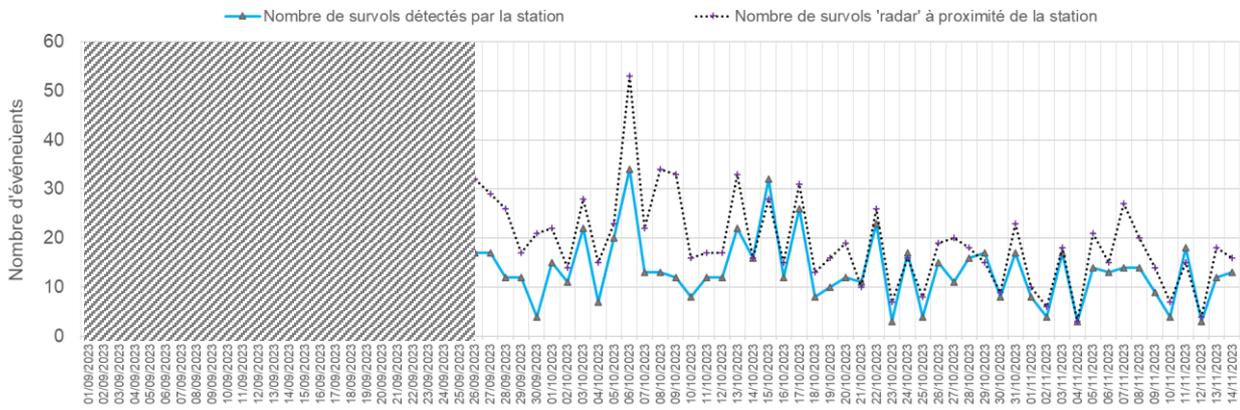
2\_4 - 92100-BOULOGNE-KERMEN



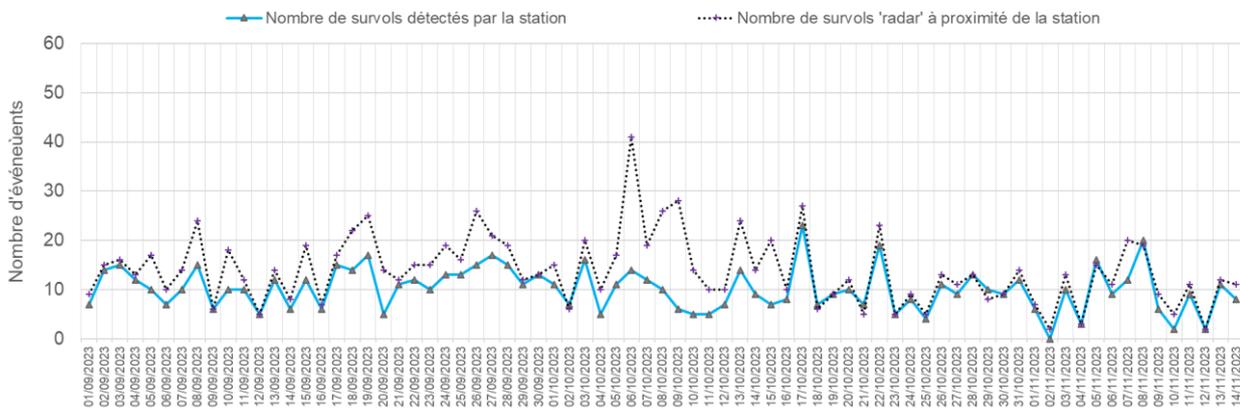
2\_5 - 92100-BOULOGNE-GRENIER



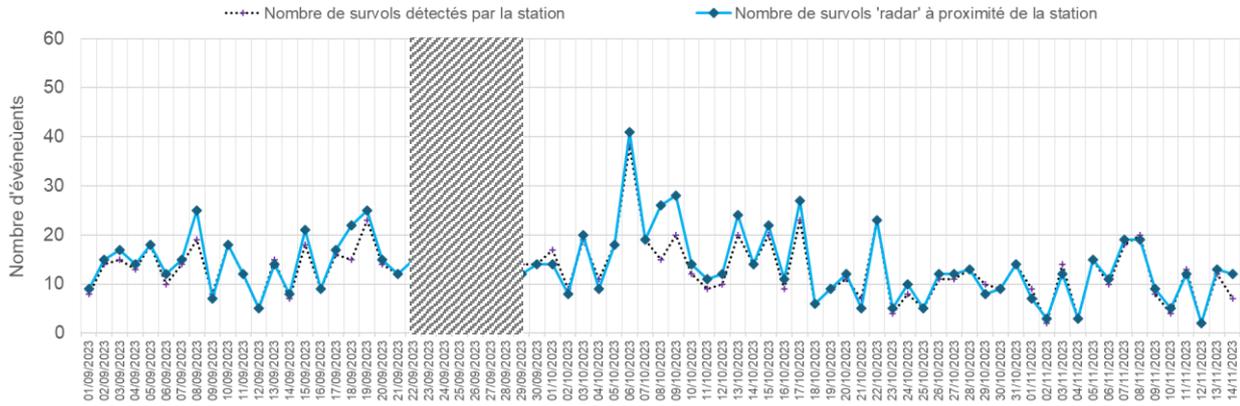
2\_6 - 92100-BOULOGNE-LONGS-PRES



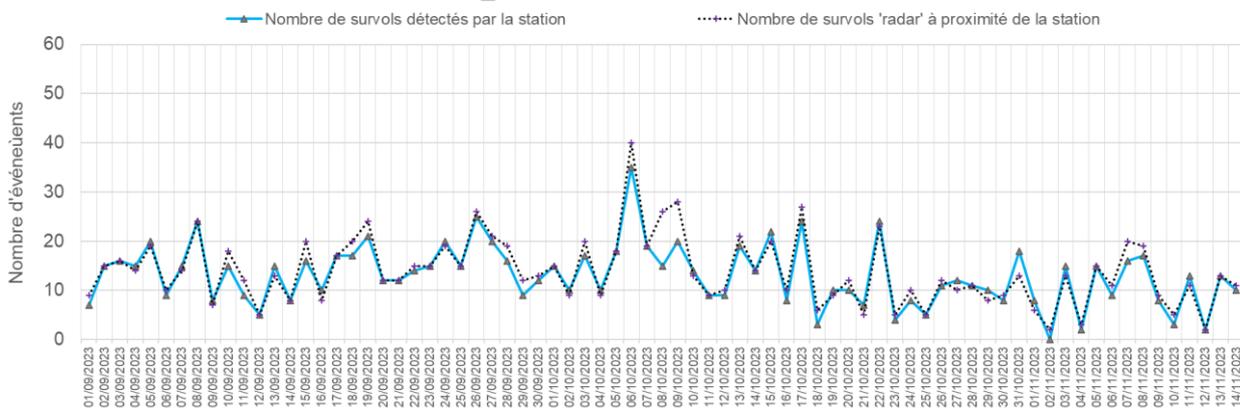
3\_1 - 92130-ISSY-BAS-MEUDON



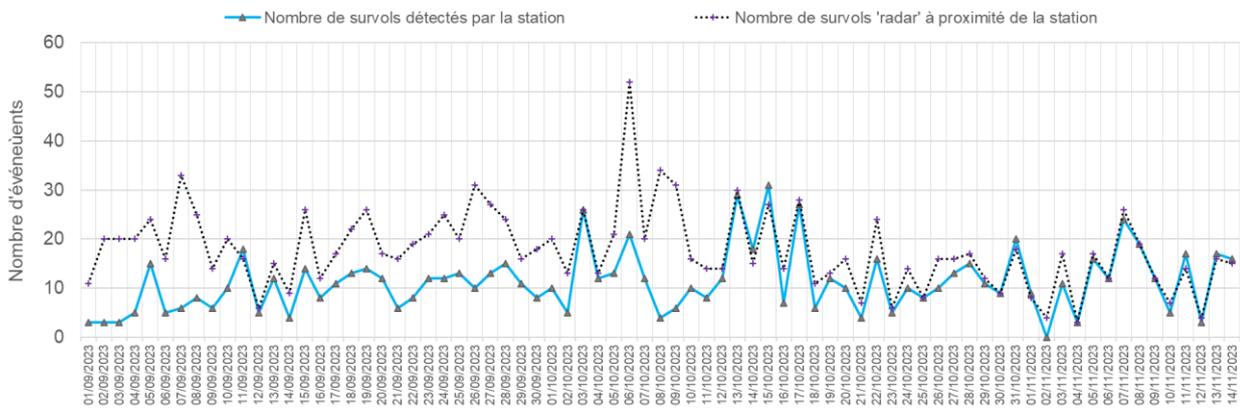
### 3\_2 - 92130-ISSY-BONNIER



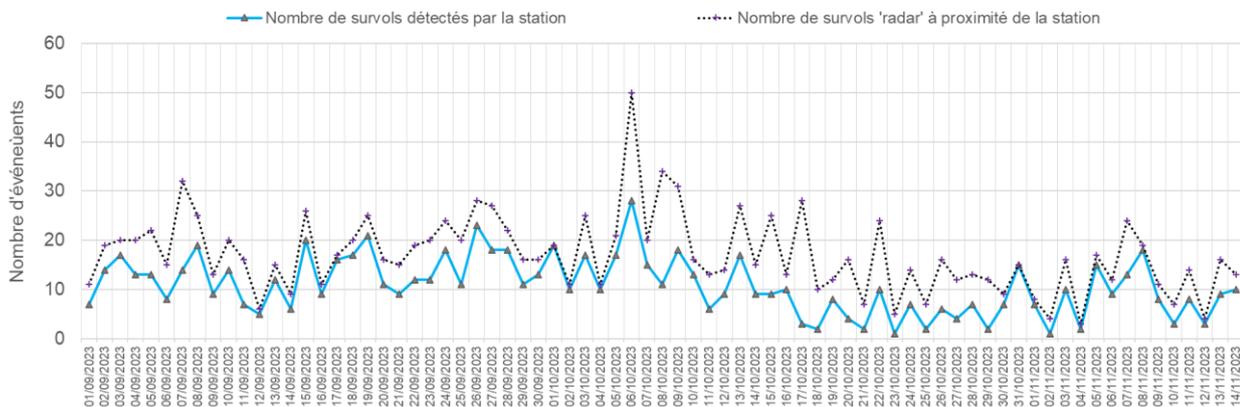
### 4\_1 - 92130-ISSY-BESNARD



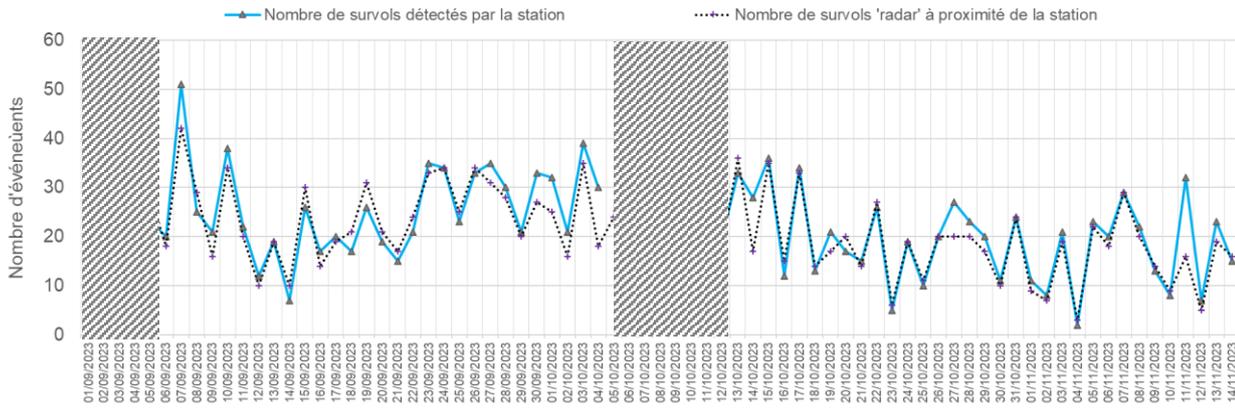
### 5\_1 - 92130-ISSY-FOLLEREAU



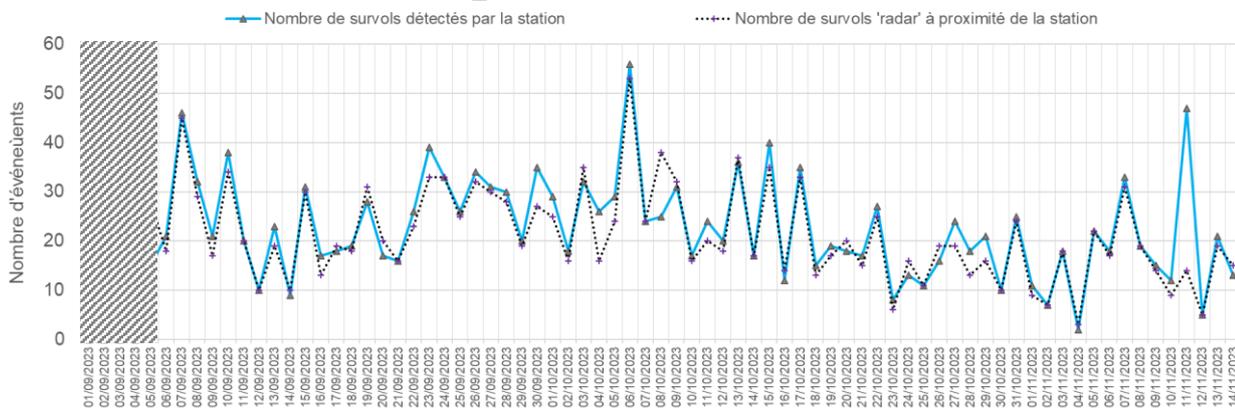
### 6\_1 - 92130-ISSY-CHAMP-CHARDON



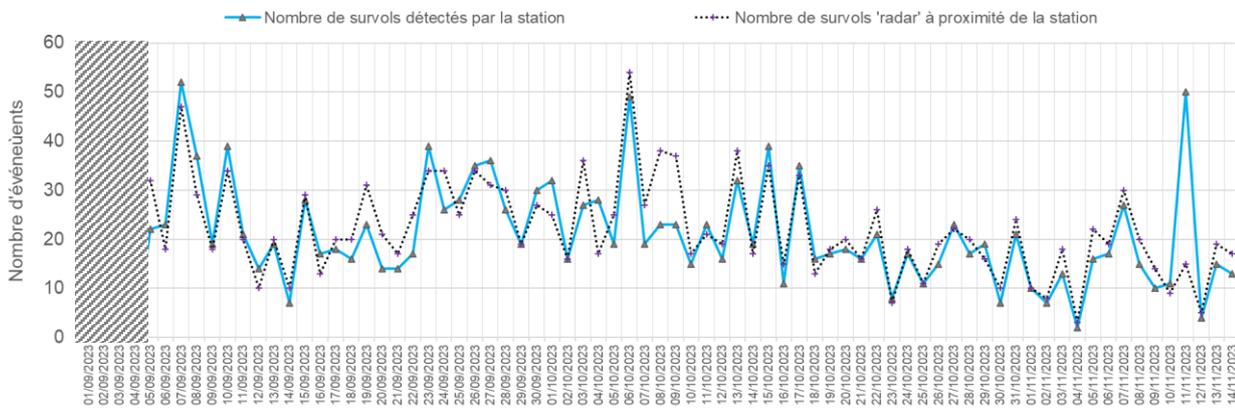
### 7\_1 - 92130-ISSY-FERBER



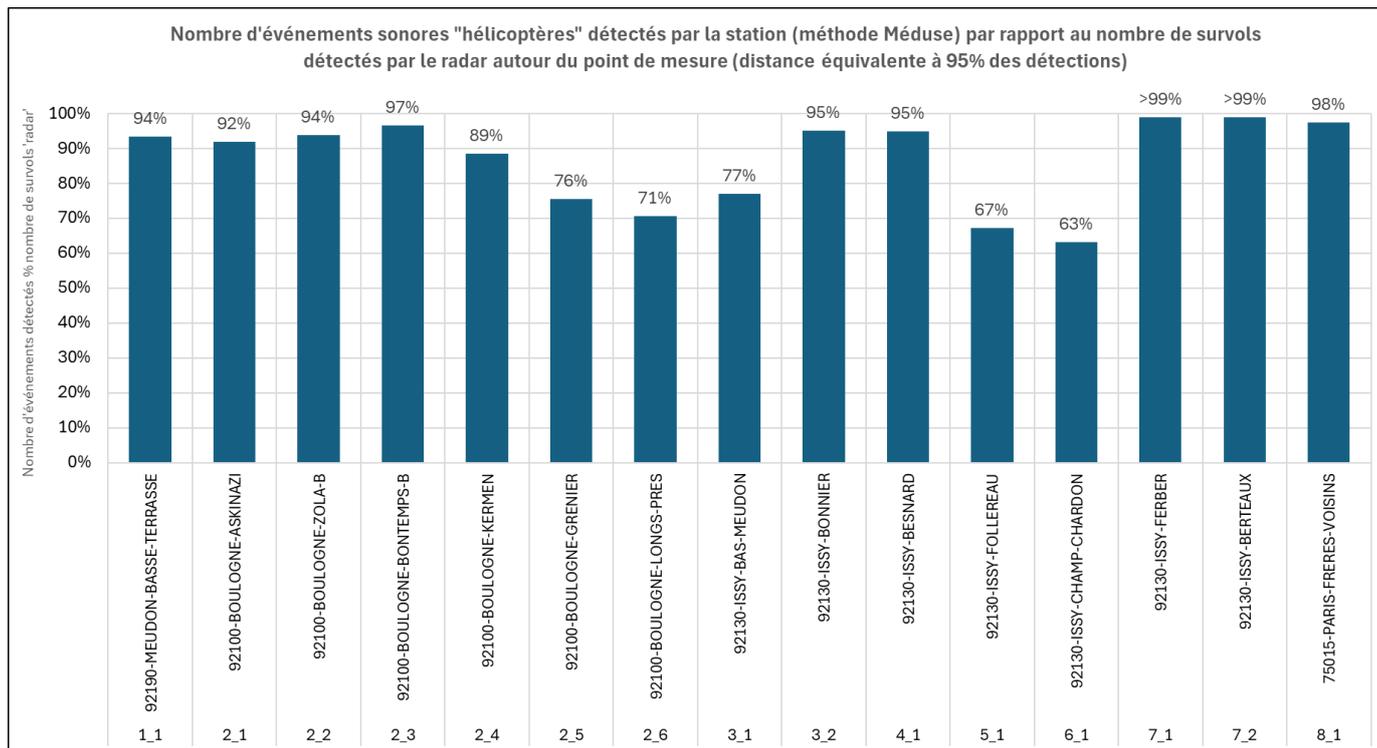
### 7\_2 - 92130-ISSY-BERTEAUX



### 8\_1 - 75015-PARIS-FRERES-VOISINS



La figure ci-dessous indique le rapport entre le nombre d'événements sonores aériens détectés et le nombre de survols figurant dans les relevés radar de la DGAC autour du site (pour une distance limitée à celle correspondant à 95% des détections).



Pour 10 stations sur 15, ce rapport est compris entre 89 et 99%. Cela semble indiquer que ces stations détectent de manière relativement exhaustive les survols d'hélicoptères passés à proximité du site.

Pour les 5 autres stations, ces proportions sont plus faibles, de l'ordre de 63 à 77%. Sur ces stations, une partie des survols n'a pas été détectée, principalement en raison de perturbations sonores en local. Ces perturbations augmentent le bruit de fond et diminuent, de fait, l'émergence du bruit des hélicoptères. Elles peuvent également détériorer la capacité de focalisation du capteur qui ne repère plus le bruit comme venant du ciel.

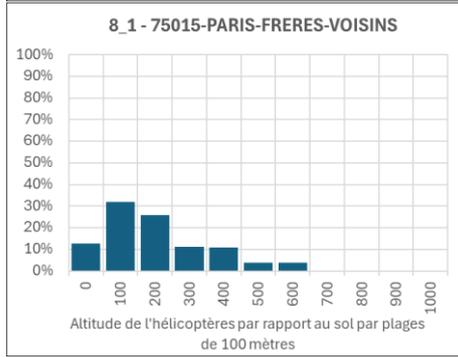
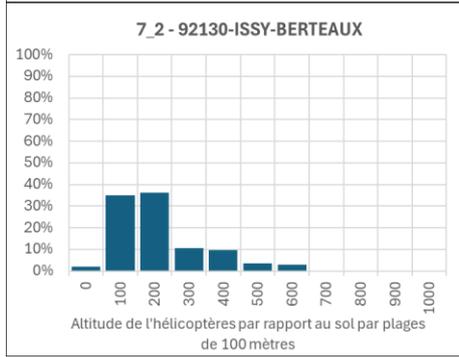
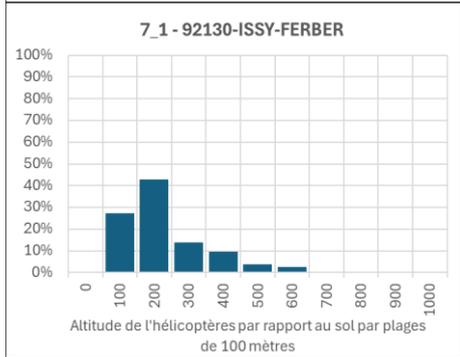
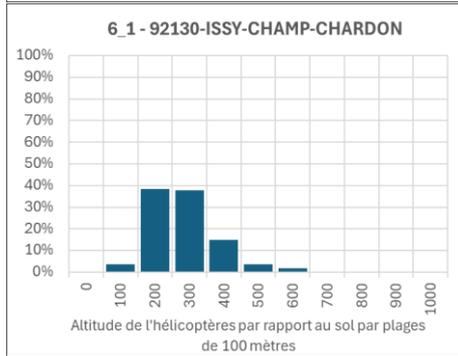
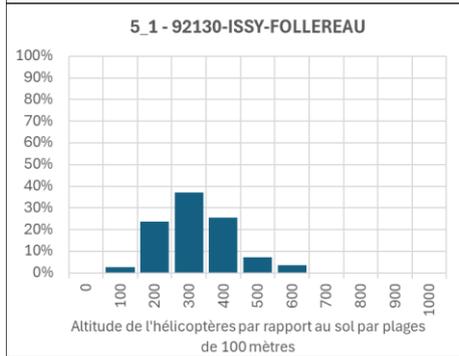
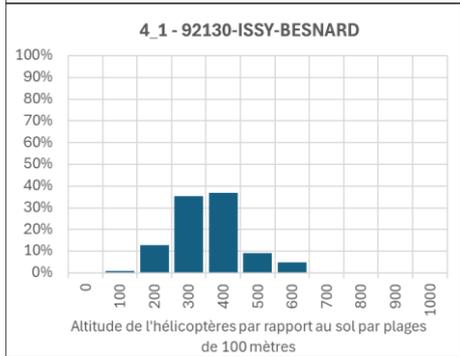
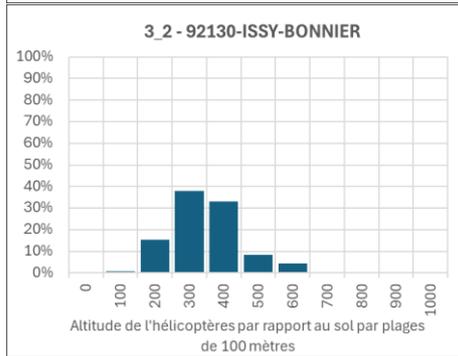
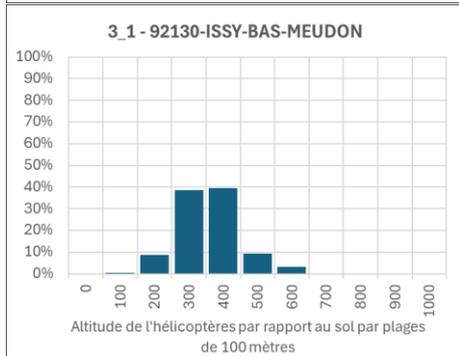
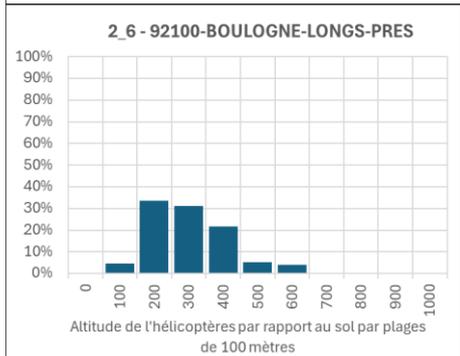
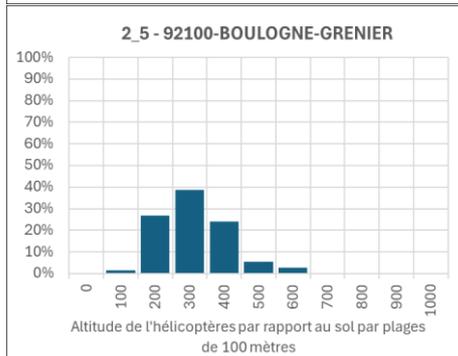
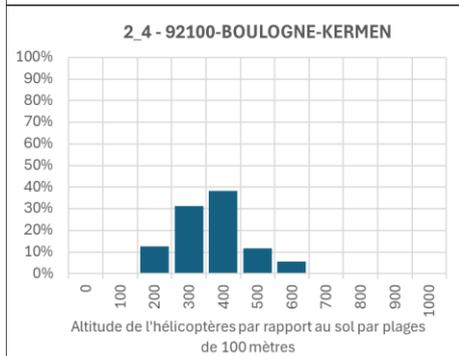
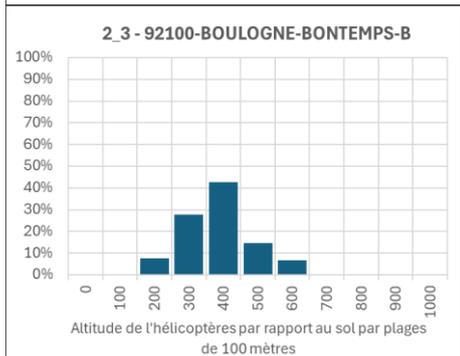
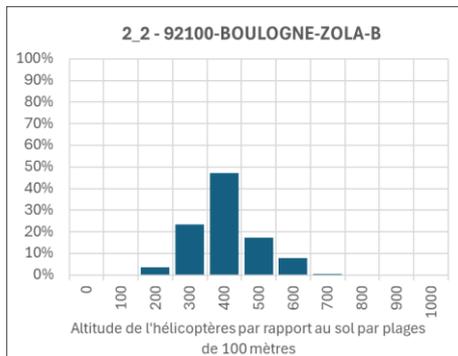
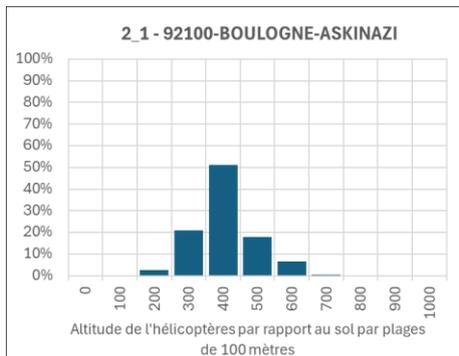
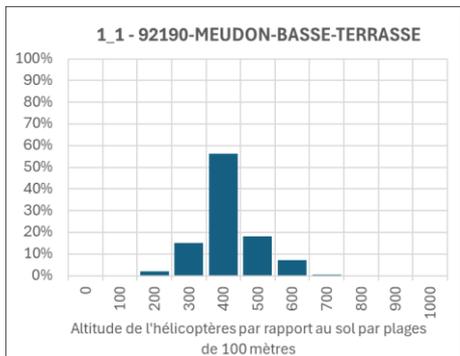
Les 5 stations concernées sont les suivantes :

- Secteur 2\_5, 92100-BOULOGNE-GRENIER (à proximité des quais de Seine)
- Secteur 2\_6, 92100-BOULOGNE-LONGS-PRES (éloigné des trajectoires, travaux dans le secteur)
- Secteur 3\_1, 92130-ISSY-BAS-MEUDON (travaux dans le secteur, ventilation en toiture)
- Secteur 5\_1, 92130-ISSY-FOLLEREAU (très urbanisé, ventilation en toiture)
- Secteur 6\_1, 92130-ISSY-CHAMP-CHARDON (à proximité de la RD7 et du tramway)

Une attention particulière doit être portée à l'exploitation des données pour ces cinq sites. Pour les besoins de l'étude et pour l'évaluation du bruit en façade des participants à l'enquête, il pourra être nécessaire de moyenner différents sites de mesure ou préférer prendre comme référence un site plus éloigné mais présentant une meilleure détection des survols d'hélicoptères.

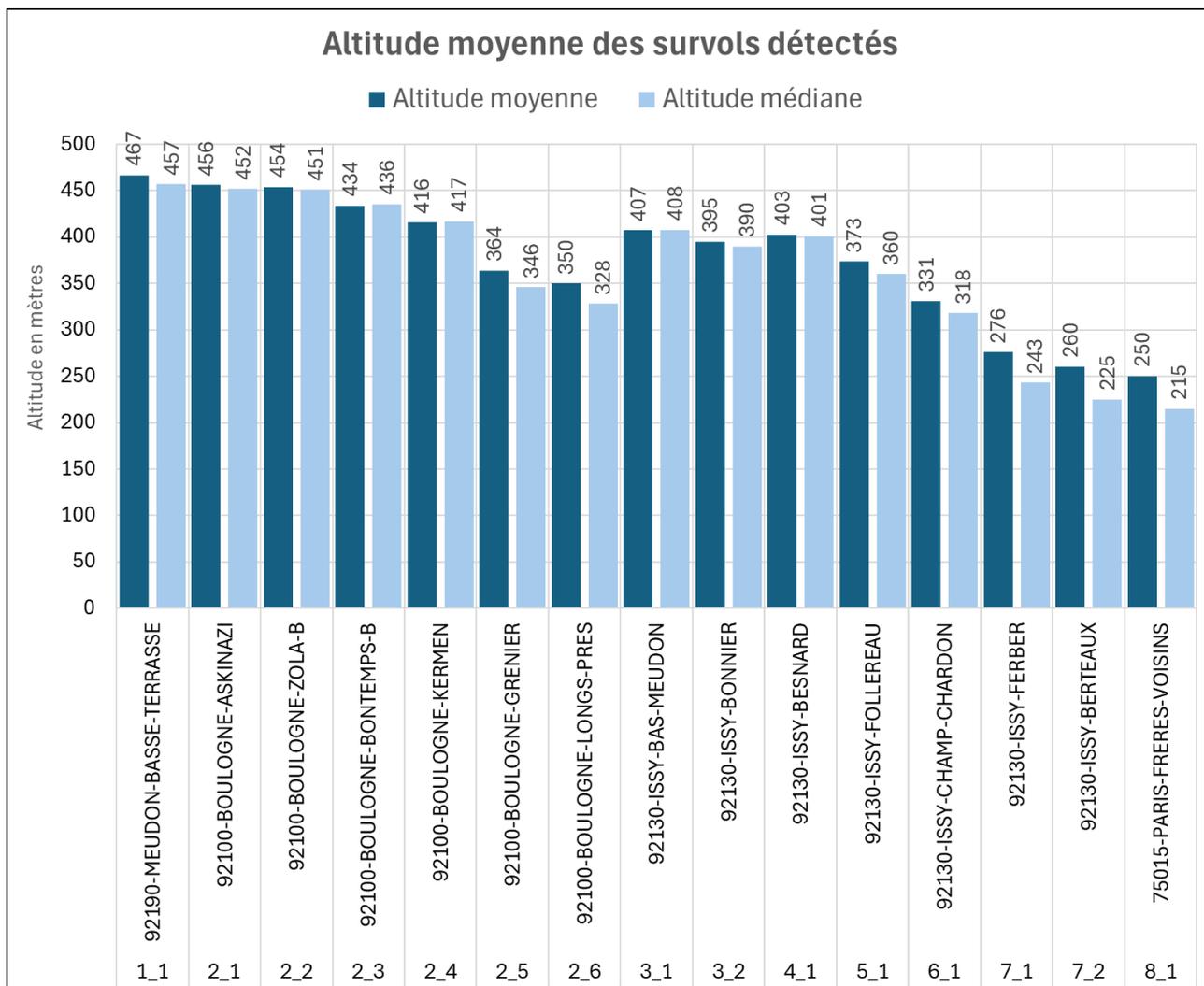
Altitudes des survols détectés

Les figures ci-dessous présentent, à titre indicatif, la distribution des altitudes de survol des événements sonores hélicoptères détectés par plages de 100 mètres (altitude par rapport au niveau de la mer au moment du LAmx).



Les altitudes de survol sont comprises entre 100 et 600 mètres environ. Les sites les plus proches de l'héliport (secteur 7 et 8) présentent logiquement des altitudes plus faibles, de moins de 300 mètres.

Les altitudes moyennes et médianes des survols d'hélicoptères détectés par les stations de mesure sont indiquées par site sur la figure ci-dessous.



Pour l'ensemble des points de mesure situés à l'ouest de la zone d'étude (1, 2\_1 à 2\_4, 3, 4 et 5), les altitudes moyennes de survol sont comprises entre 395 et 467 mètres (par rapport au niveau de la mer). Elles sont relativement cohérentes avec l'altitude théorique de survol en phase de croisière (1500 pieds soient 457 mètres).

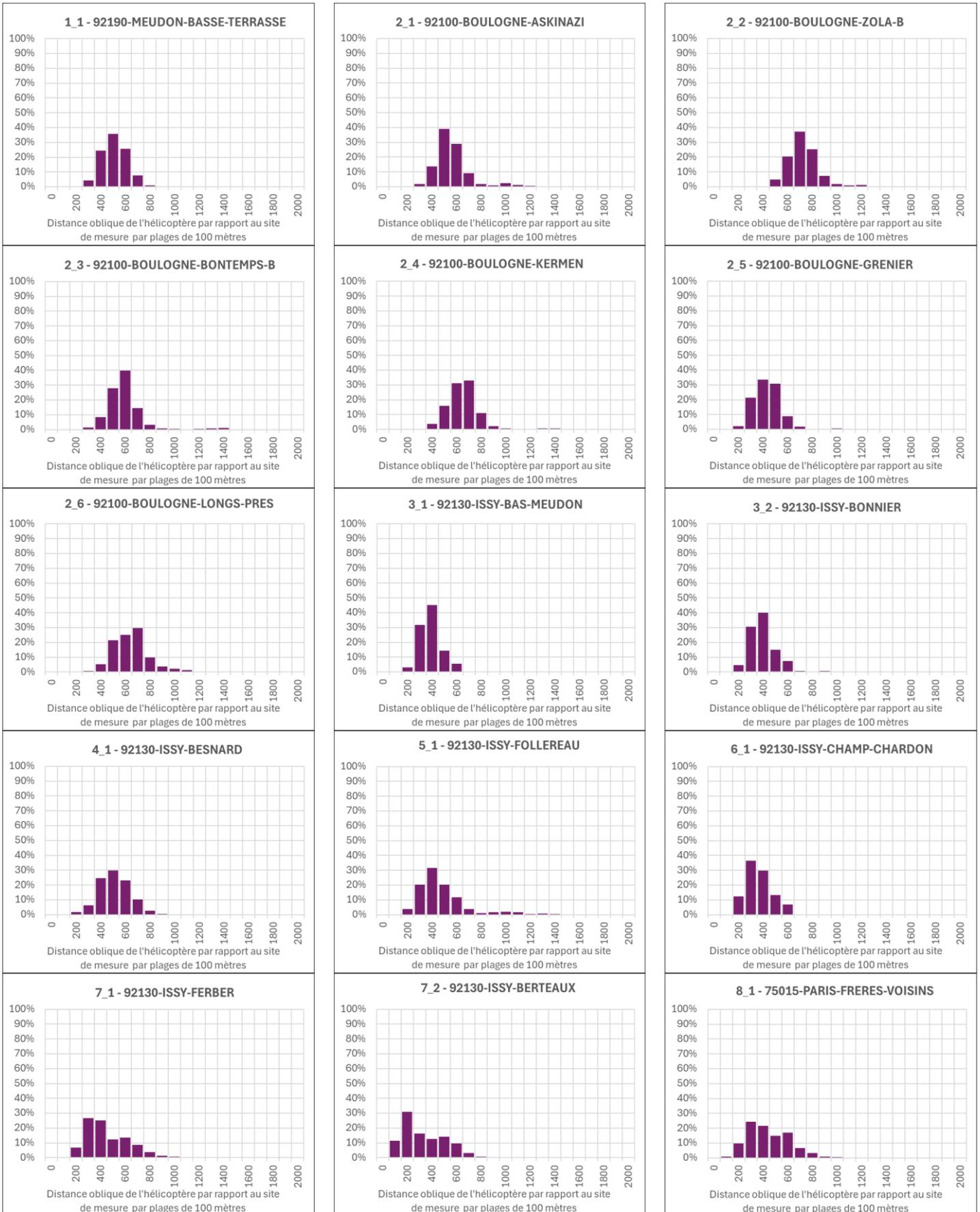
Sur la zone centrale (secteur 2\_5, 2\_6 et 6), les altitudes moyennes sont comprises entre 331 et 364 mètres.

Enfin sur les secteurs les plus proches de l'héliport (7 et 8), les altitudes moyennes sont comprises entre 250 et 276 mètres.

A titre indicatif, l'altitude de la piste de l'héliport est de 34 mètres par rapport au niveau de la mer.

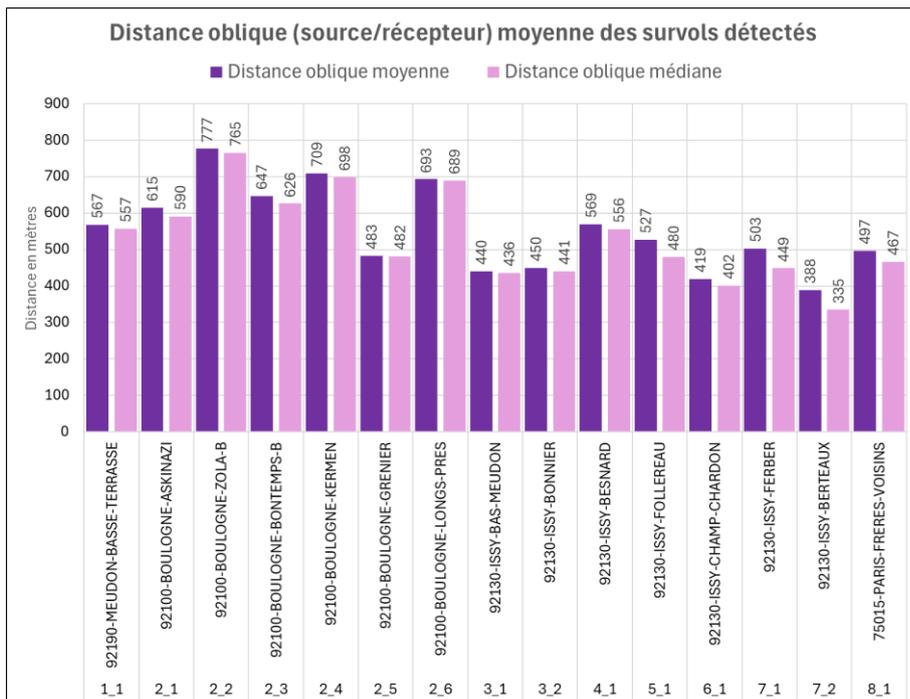
Distance entre les survols et les sites de mesure

Les figures ci-dessous présentent la distribution, par plages de 100 mètres, des distances obliques pour les événements sonores hélicoptères détectés (distance entre le survol et le site de mesure au moment du LAmax).



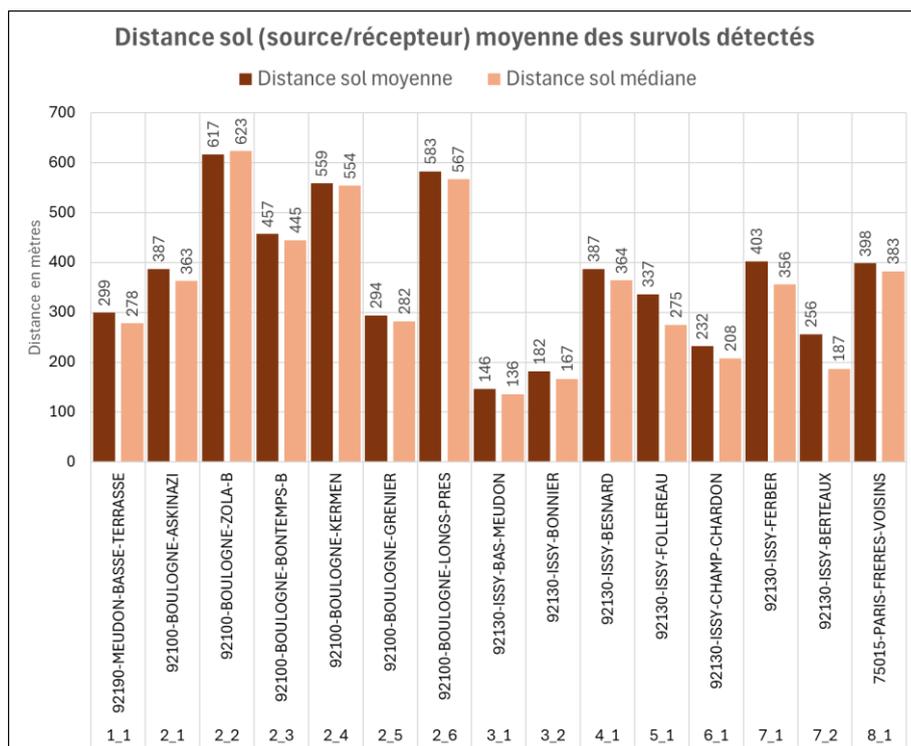
Les distances obliques séparant les survols d'hélicoptères des sites de mesure sont comprises entre 100 et 1 500 mètres environ. Les moyennes et les médianes des distances obliques des survols d'hélicoptères détectés par les stations de mesure sont indiquées par site sur la figure ci-contre.

La distance oblique moyenne est comprise entre 388 et 777 mètres.



A titre d'information, la distance « sol » a également été déterminée pour les survols détectés par les stations de mesure. La figure ci-contre présente la moyenne et la médiane de cette distance pour chaque site de mesure.

Cette distance moyenne est comprise entre 146 et 617 mètres.



## Indicateurs acoustiques énergétiques

Ce chapitre présente les indicateurs énergétiques en niveau équivalent pondéré A sur l'ensemble de la période de mesure, du 1<sup>er</sup> septembre au 14 novembre 2023, par périodes et par types de jour. Les périodes et types de jour ont été adaptés pour correspondre au questionnaire réalisé auprès des participants.

En l'occurrence :

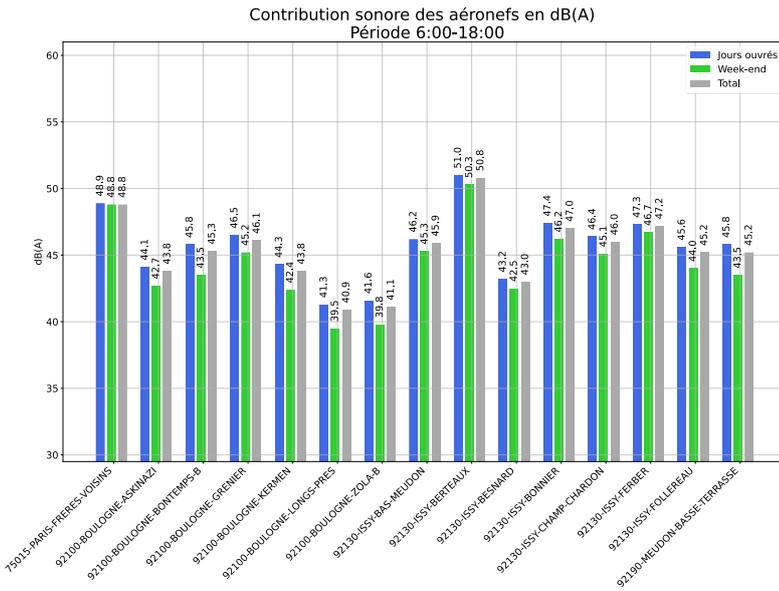
- La situation « tous jours confondus » correspond à la totalité de la période de mesure disponible.
- La situation « jours ouvrés » correspond à la période comprise entre le lundi 6 heures et le vendredi 18 heures.
- La situation « week-end » correspond à la période comprise entre vendredi 18 heures et le lundi 6 heures.
- La période « 6h-18h » correspond à la période de journée comprise entre 6 heures et 18 heures.
- La période « 18h-22h » correspond à la période de soirée comprise entre 18 heures et 22 heures.
- La période « 22h-6h » correspond à la période de nuit comprise entre 22 heures et 6 heures.
- La période « 24h » correspond à l'ensemble de la journée.
- Le Lden correspond à l'indicateur global pondéré calculé à partir des niveaux sonores moyens jour/soir/nuit. Une pondération de +5 dB est appliquée au niveau moyen en période de soirée et une pondération de +10 dB est appliquée au niveau moyen en période de nuit.

Les indicateurs acoustiques sont ensuite moyennés (moyenne logarithmique) sur chaque période et chaque type de jour sur les données disponibles, hors périodes de dysfonctionnement de la station et hors périodes invalidées en raison de perturbations sonores significatives.

Les indicateurs sont ici présentés uniquement pour les niveaux en dB(A). Les données brutes comprennent les niveaux en dB(C) qui pourront être intégrés à l'analyse des données par participant.

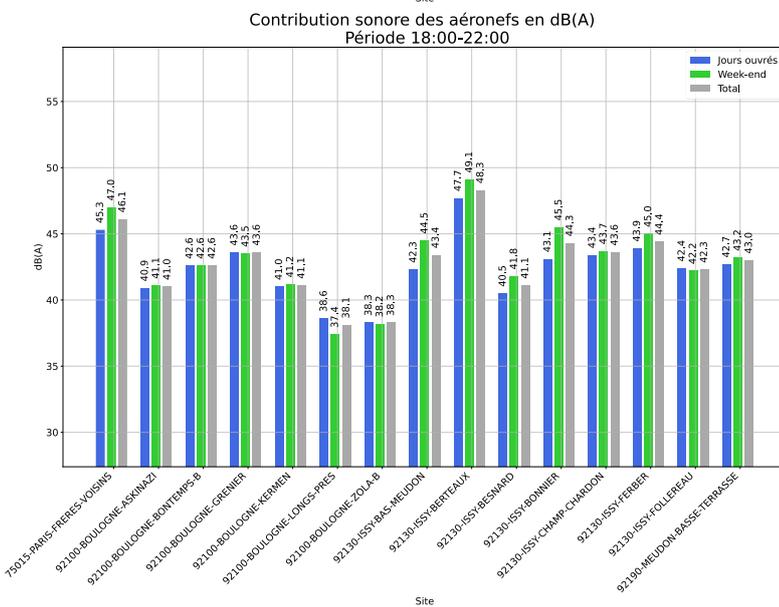
Les figures qui suivent présentent la contribution sonore énergétique associée aux survols d'hélicoptères. Elle est calculée à partir de l'indicateur SEL évalué pour chaque événement sonore hélicoptère détecté.

En préalable, il convient de noter que les stations de mesure des secteurs 7 et 8 : (**92130-ISSY-FERBER**, **92130-ISSY-BERTEAUX** et **75015-PARIS-FRERES-VOISINS**) sont à **proximité immédiate de l'héliport** et qu'elles sont également exposés à des vols d'hélicoptères en provenance ou à destination de l'Est de l'aéroport (circuit de trajectoire suivant le boulevard Périphérique sud). **Ces trois stations sont donc exposées à un nombre plus important de survols que les autres sites.**



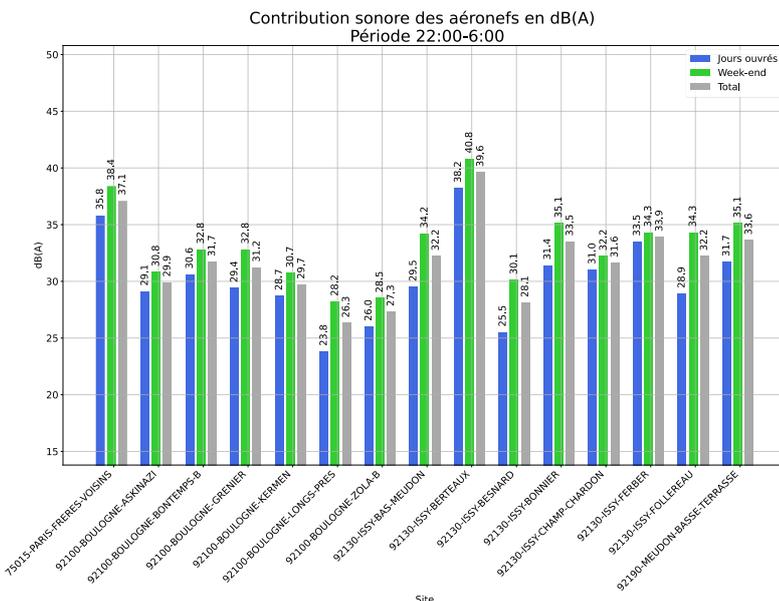
Les contributions sonores énergétiques du bruit « hélicoptères », sur la période de journée 6h-18h, sont comprises entre 39,5 et 51 dB(A).

Sur la période de journée, le niveau de bruit moyen associé aux hélicoptères observé sur le week-end est inférieur à celui observé en jours ouvrés.



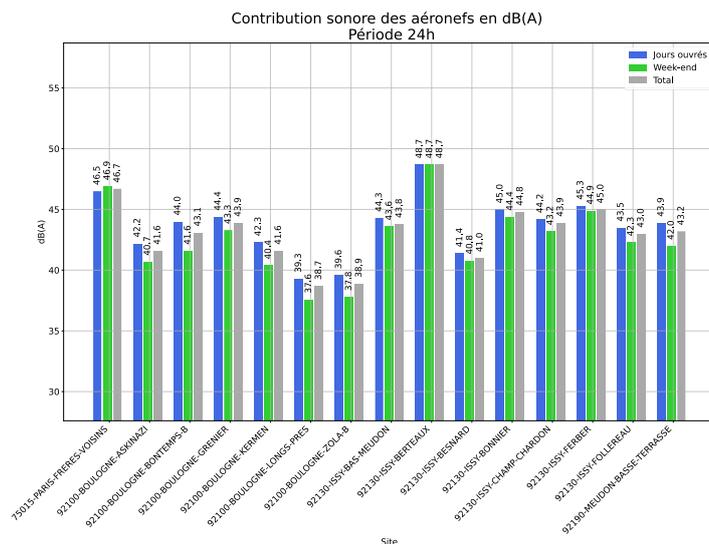
Les contributions sonores énergétiques du bruit « hélicoptères », sur la période de soirée 18h-22h, sont comprises entre 37,4 et 49,1 dB(A). Ces niveaux sont inférieurs à ceux de la journée (6h-18h).

Sur la période de soirée, le niveau de bruit moyen associé aux hélicoptères observé sur le week-end est, pour une grande partie des sites, supérieur à celui observé en jours ouvrés. Cela est en partie dû à des vols d'hélicoptères en lien avec la coupe du monde de rugby ayant eu lieu en septembre 2023 et ayant entraîné des vols de sécurité sur la région parisienne.



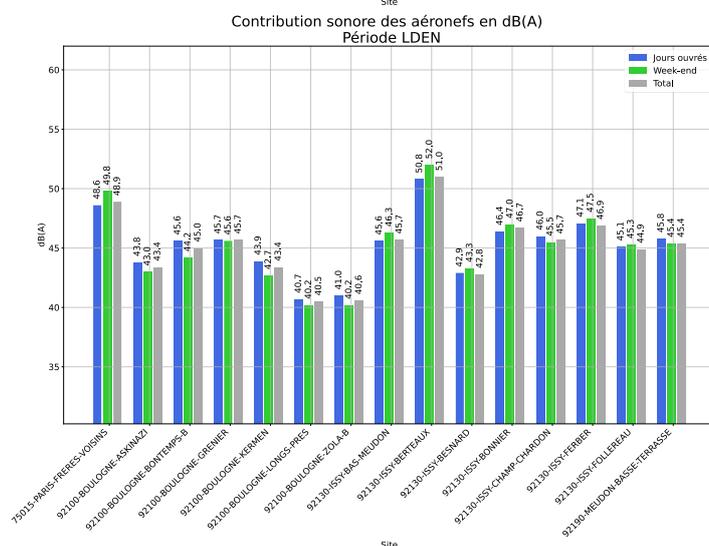
Les contributions sonores énergétiques du bruit « hélicoptères », sur la période de nuit 22h-6h, sont comprises entre 23,8 et 40,8 dB(A). Ces niveaux sont inférieurs à ceux de la journée et de la soirée.

Sur la période de nuit, le niveau de bruit moyen associé aux hélicoptères observé sur le week-end est, pour une grande partie des sites, légèrement supérieur à celui observé en jours ouvrés, là encore il s'agit probablement de vols en lien avec la coupe du monde de rugby (matches en soirée le vendredi, le samedi ou le dimanche).



Les contributions sonores énergétiques du bruit « hélicoptères », sur la totalité de la journée, sont comprises entre 37,6 et 48,7 dB(A).

Le niveau de bruit moyen associé aux hélicoptères observé le week-end est inférieur à celui observé en jours ouvrés sur tous les sites à l'exception du site Paris-Frères Voisins situé à proximité immédiate de l'héliport.



Les contributions sonores énergétiques du bruit « hélicoptères » en Lden, sont comprises entre 40,2 et 52,0 dB(A).

Le niveau de bruit Lden, associé aux hélicoptères, observé sur le week-end est, pour une partie des sites, supérieur à celui observé en jours ouvrés. Cela est probablement dû à des vols d'hélicoptères en lien avec la coupe du monde de rugby (matches en soirée le vendredi, le samedi ou le dimanche au Stade de France).

Les niveaux de bruit Lden et Ln (équivalent au niveau LAeq,22h-6h) associés au bruit des hélicoptères sont tous inférieurs aux valeurs limites réglementaires de 55 dB(A) (Lden) et de 50 dB(A) (Ln) prises en application de la directive européenne 2002/49/CE.

A titre indicatif, les valeurs en Lden et en Ln sont comparées aux objectifs de qualité sonore recommandés par l'Organisation Mondiale de la Santé pour une exposition au bruit des avions. A noter que ces objectifs ont été déterminés à partir d'études réalisées auprès de populations exposées à du bruit d'avions autour de grands aéroports. Elles correspondent à un contexte différent de celui de l'héliport mais sont les seules recommandations existantes pour le bruit d'aéronefs.

Sur certains sites, les niveaux de bruit Lden associés au bruit des hélicoptères sont supérieurs à l'objectif de qualité de 45 dB(A) recommandé par l'Organisation Mondiale de la Santé vis-à-vis du bruit des avions. Les deux sites suivants sont concernés :

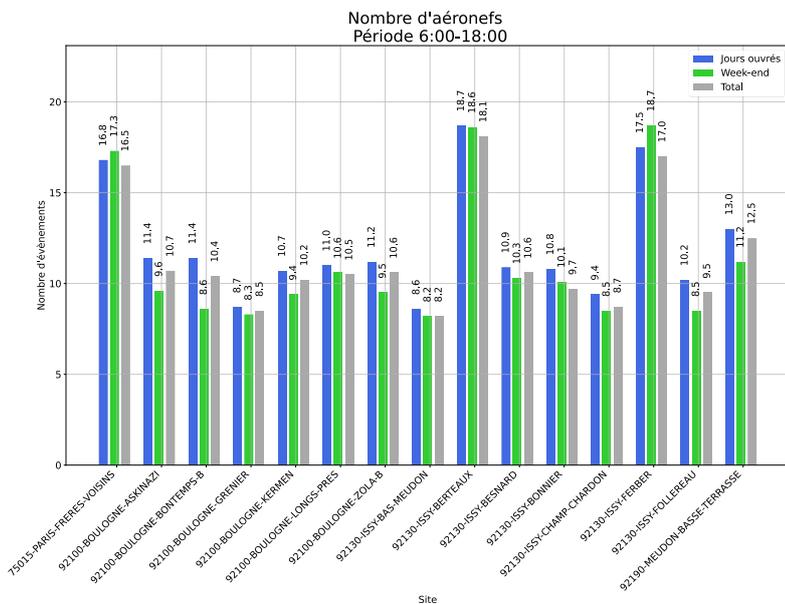
- Secteur 7\_2, 92130-ISSY-BERTEAUX,
- Secteur 8\_1, 75015-PARIS-FRÈRES-VOISINS.

Les niveaux de bruit Ln associés au bruit des hélicoptères sont inférieurs à l'objectif de qualité de 40 dB(A) recommandé par l'Organisation Mondiale de la Santé vis-à-vis du bruit des avions.

### Indicateurs acoustiques événementiels

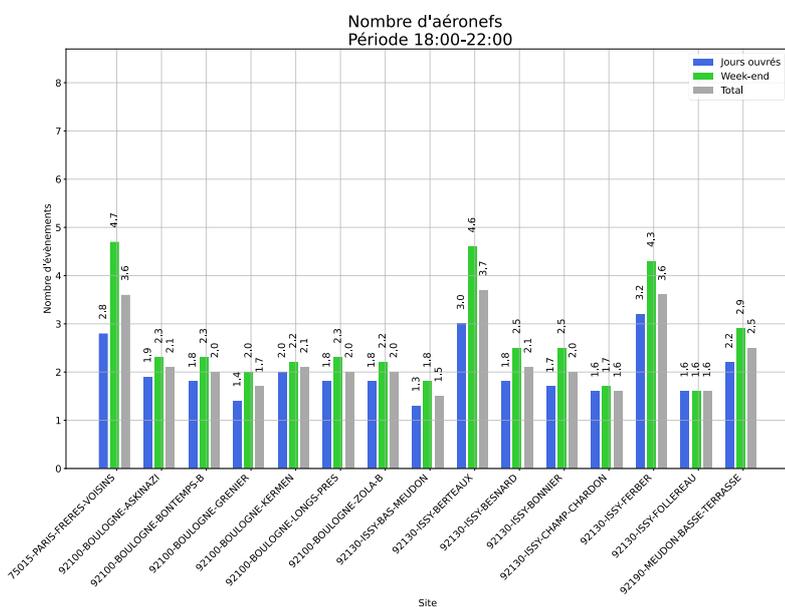
A l’instar des indicateurs énergétiques, le nombre total d’événements sonores hélicoptères détectés et un calcul de la distribution des niveaux L<sub>Amax,1s</sub> par plages de 5 dB(A) ont été déterminés sur l’ensemble de la période de mesure, du 1<sup>er</sup> septembre au 14 novembre 2023, en dissociant les différentes périodes et les différents types de jour.

#### Nombre d’événements sonores hélicoptères détectés en moyenne journalière



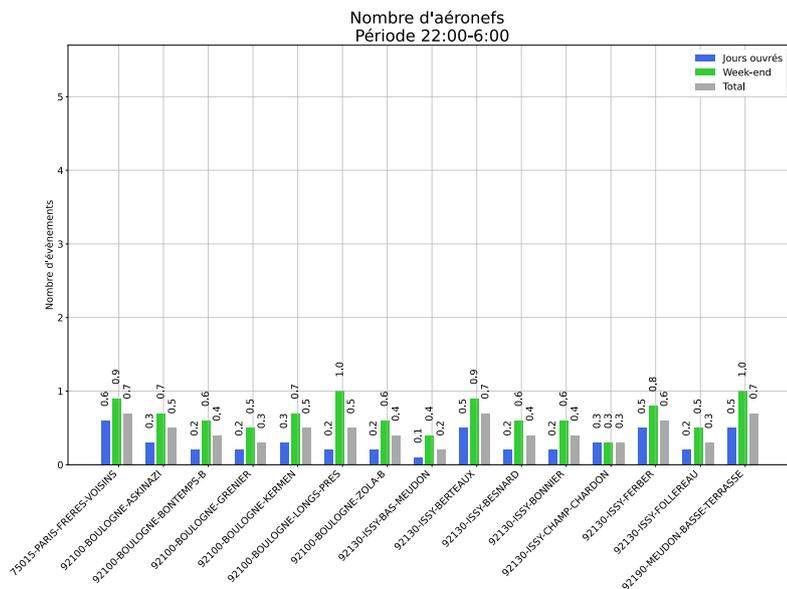
Le nombre d’événements sonores hélicoptères, sur la période de journée 6h-18h, est compris entre 8 et 19 survols par journée en moyenne.

En journée pour les sites très proches de l’héliport, le nombre d’événements observé le week-end est supérieur à celui observé en jours ouvrés.



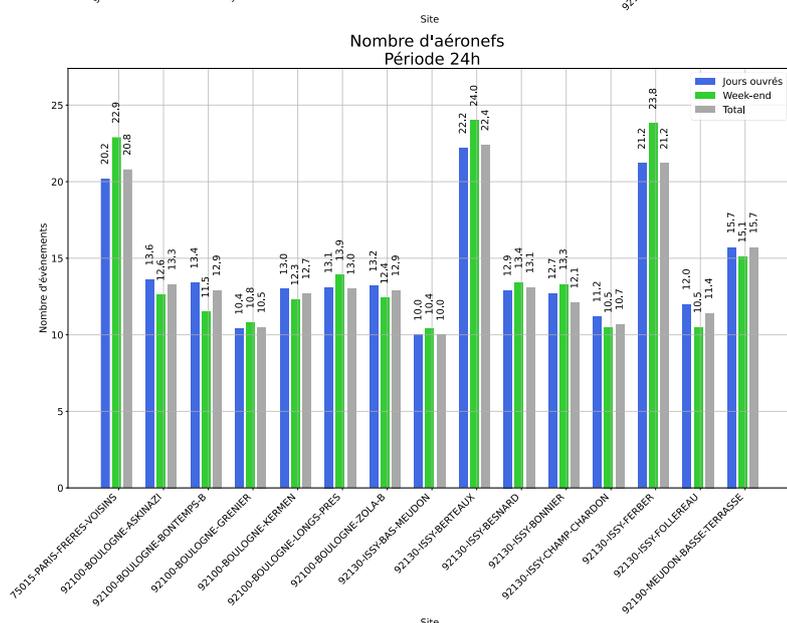
Le nombre d’événements sonores hélicoptères, sur la période de journée 18h-22h, est compris entre 1 et 5 survols par soirée en moyenne.

En soirée pour l’ensemble des sites, le nombre d’événements observé le week-end est supérieur à celui observé en jours ouvrés, très probablement en raison de vols liés à la coupe du monde de rugby ayant eu lieu en septembre 2023.



Le nombre d'événements sonores hélicoptères, sur la période de nuit 22h-6h, est compris entre 0 et 1 survol par nuit en moyenne.

La nuit, pour la quasi-totalité des sites, le nombre d'événements observé le week-end est supérieur à celui observé en jours ouvrés.



Le nombre d'événements sonores hélicoptères détectés est compris entre 10 et 24 survols par jour en moyenne.

La nuit, pour la quasi-totalité des sites, le nombre d'événements observé le week-end est supérieur à celui observé en jours ouvrés.

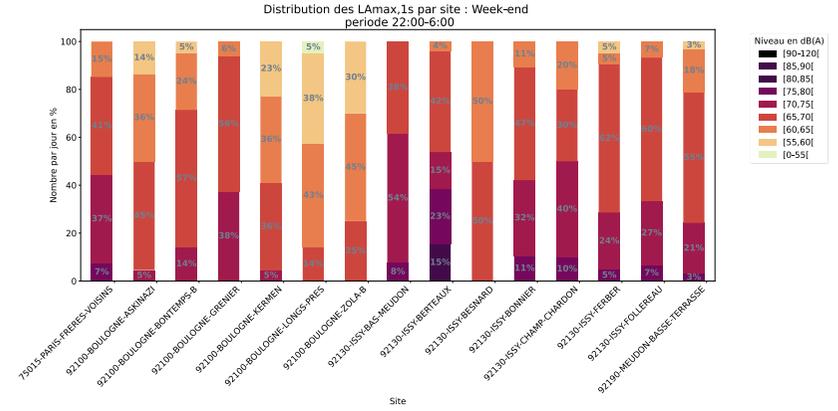
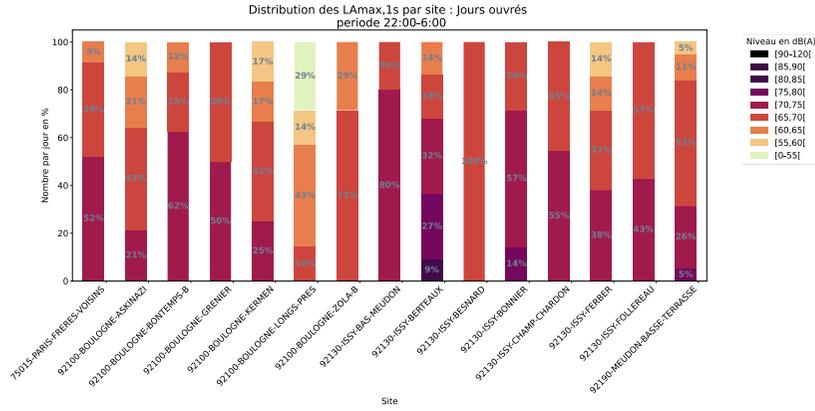
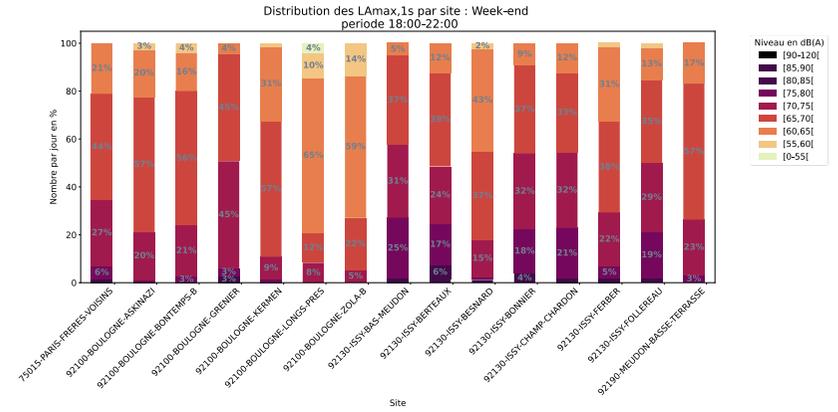
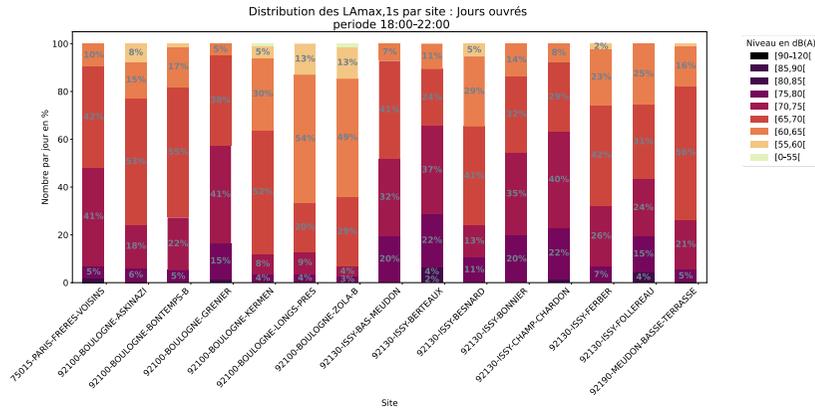
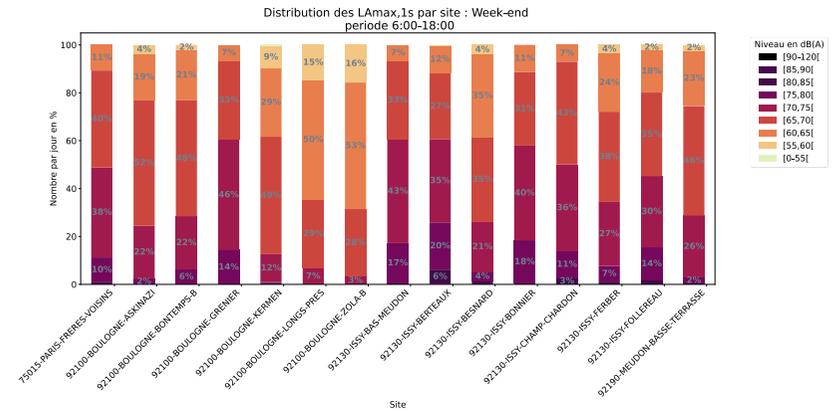
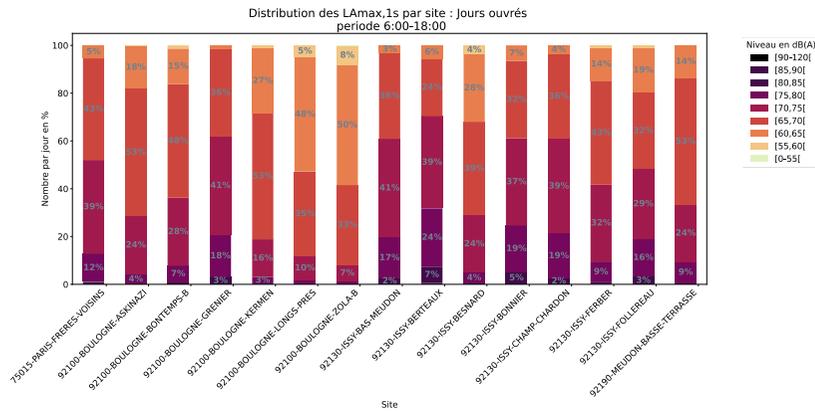
### Nombre d'événements sonores hélicoptères détectés en moyenne journalière – (jours ouvrés et week-end)

Les figures qui suivent représentent la distribution du niveau  $L_{Amax,1s}$  des événements sonores hélicoptères détectés par plages de 5 dB(A). Ces représentations fournissent une indication de la répartition des survols selon le bruit généré en  $L_{Amax,1s}$ .

Sans surprise, les sites présentant les plus fortes proportions de vols très bruyants ( $L_{Amax}$  supérieur ou égal à 75 dB(A)) sont les plus proches de l'héliport et directement sous les trajectoires. Ainsi le site 92130-ISSY-BERTEAUX (secteur 7\_2) qui était le plus bruyant pour les indicateurs énergétiques est également celui qui présente les niveaux  $L_{Amax,1s}$  les plus bruyants (en période de journée, 32% des événements présentent un  $L_{Amax}$  de plus de 75 dB(A)).

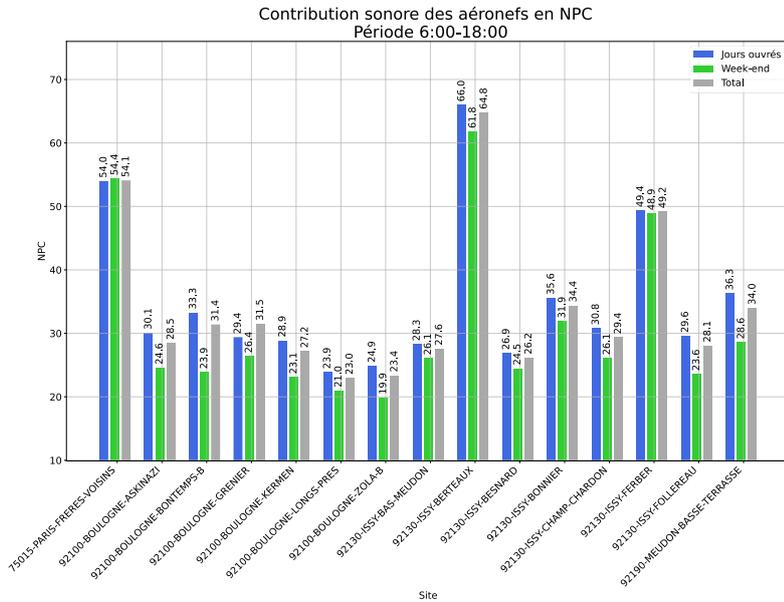
En période de journée, entre 6 et 18 heures, la part des événements les plus bruyants semble diminuer entre les jours ouvrés et le week-end. Ainsi, à titre d'exemple, la part des événements présentant un  $L_{Amax,1s}$  supérieur ou égal à 75 dB(A) passe, des jours ouvrés au week-end, de 12 à 10% sur le site Paris-Frères-Voisins, de 21 à 14% sur le site Boulogne-Grenier, de 31 à 20% pour le site Issy-Berteaux, de 24 à 18% pour le site Issy-Bonnier et de 9 à 2% pour le site Meudon-Basse-Terrasse.

Nombre d'événements sonores hélicoptères détectés en moyenne journalière – (jours ouvrés et week-end)



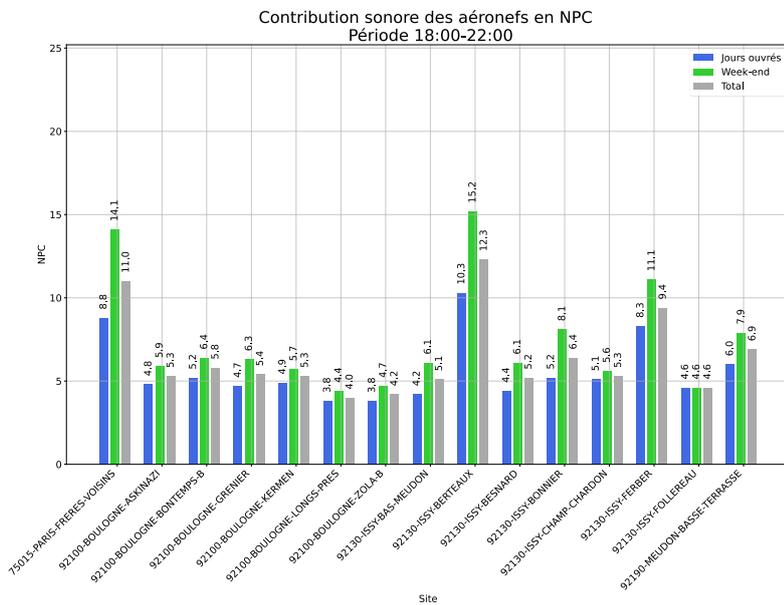
Indicateur à points NPC

Dans le cadre des travaux sur les pics de bruit du Conseil National du Bruit, Bruitparif a proposé un indice à points, le NPC (pour Noise Point Counter, voir chapitre Indicateurs de bruit / indicateurs événementiels) calculé à partir du SEL de chaque événement sonore hélicoptère détecté. Le nombre de points obtenu par événement est ensuite sommé pour l'ensemble des événements d'une période (jour/soir/nuit, jour ouvré, week-end...) puis moyenné sur l'ensemble de la période de mesure.



Le NPC hélicoptères, sur la période de journée 6h-18h, est compris entre 20 et 66 points d'indice.

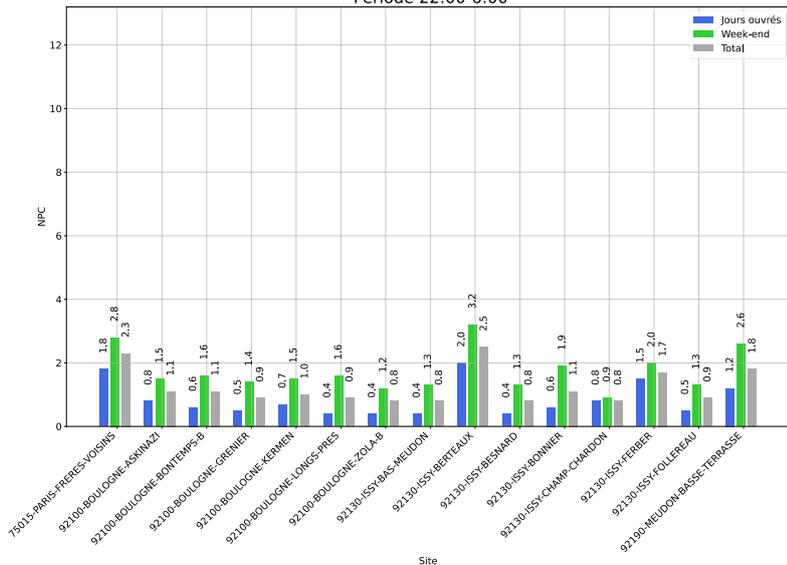
Pour les sites les plus proches de l'héliport (Paris-Frères-Voisins, Issy-Berteaux et Issy-Ferber), le NPC en période de week-end est supérieur au NPC en période de jours ouvrés. Cette augmentation du NPC est en lien avec une augmentation du nombre de vols le week-end.



Le NPC hélicoptères, sur la période de soirée 18h-22h, est compris entre 4 et 15 points d'indice.

Sur l'ensemble des sites de mesure, le NPC de la période de week-end est significativement plus important que celui de la période « jours ouvrés », en lien avec une augmentation du nombre de vols le week-end.

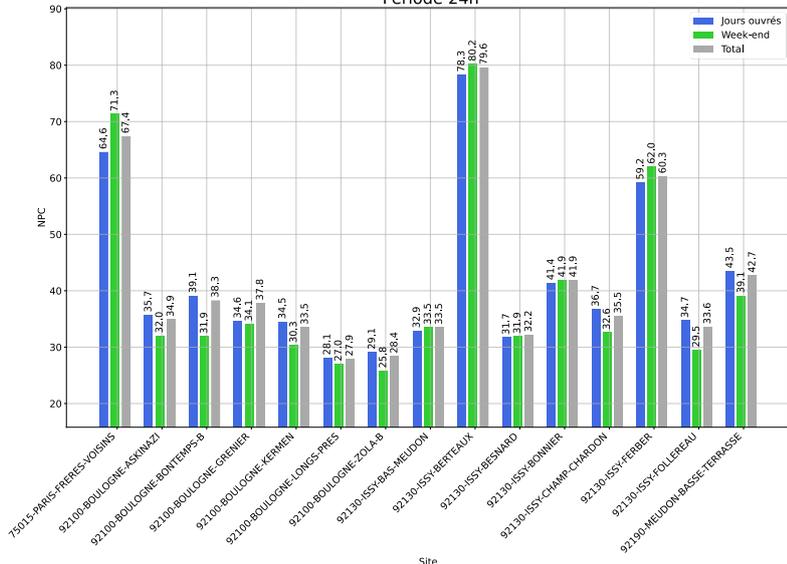
Contribution sonore des aéronefs en NPC  
Période 22:00-6:00



Le NPC hélicoptères, sur la période de nuit 22h-6h, est compris entre 0 et 3 points d'indice.

Comme en soirée, le NPC de la période de week-end est significativement plus important que celui de la période « jours ouvrés ».

Contribution sonore des aéronefs en NPC  
Période 24h



Le NPC hélicoptères, sur la totalité de la journée, est compris entre 26 et 81 points d'indice.

Sur la moitié des sites de mesure, le NPC de la période de week-end est plus important que celui de la période « jours ouvrés », en lien avec une augmentation du nombre de vols le week-end.

## CONCLUSION

Le projet MOTUS (Minimisation de l'impact acoustique des VTOLs en conditions urbaines) a pour objectif d'étudier la gêne due au bruit des hélicoptères autour de l'héliport de Paris – Issy les Moulineaux. Cette étude pilotée par Airbus est menée en collaboration entre l'Université Gustave Eiffel (UGE) et Bruitparif. L'enquête par questionnaire a été menée en septembre 2023 par l'UGE auprès d'un échantillon de 768 personnes exposées au bruit d'hélicoptères dans le secteur de l'héliport de Paris – Issy les Moulineaux. Elle a été accompagnée d'une campagne de mesure du bruit réalisée par Bruitparif du 1<sup>er</sup> septembre au 14 novembre 2023 sur quinze sites répartis sur l'ensemble de la zone d'étude.

Ces mesures constituent une base de données destinées à évaluer l'exposition au bruit des hélicoptères de l'ensemble des participants à l'enquête. Des mesures de bruit ne pouvant pas être réalisées pour chaque participant, une modélisation numérique complémentaire du bruit des hélicoptères a été réalisée par Airbus Helicopters. Cette modélisation a permis de calculer une matrice de correction prenant en compte la distance et les effets de masquage ou de réflexion du bruit dus aux bâtiments, entre le point de mesure et la façade du participant.

Bruitparif a également ajusté la géolocalisation des participants et fourni les résultats d'une modélisation du bruit routier en façade du logement de chaque participant. Elle a été opérée à partir des données des cartes de bruit stratégiques d'échéance 4 réalisées dans le cadre de la directive européenne 2002/49/CE. En l'absence de mesures représentatives du bruit résiduel pour chaque participant, ces niveaux de bruit routier fournissent une approximation du bruit résiduel hors survols par des hélicoptères. Ce bruit résiduel est ensuite retranché au niveau maximal atteint au cours de chaque survol pour calculer l'émergence événementielle.

Le présent document présente essentiellement les sites de mesure, la méthode de détection des événements sonores liés aux survols par des hélicoptères, la description des données livrées aux partenaires de l'étude ainsi que des résultats de synthèse sur l'ensemble des sites sur la totalité de la période de mesure.

Les sites les plus proches de l'héliport (secteurs 7 et 8 : Paris-Frères-Voisins, Issy-Berteaux et Issy-Ferber), présentent de l'ordre de 20 à 24 événements sonores hélicoptères par jour, dont environ 17 à 19 événements en journée (6h-18h), 3 à 5 événements en soirée (18h-22h) et moins d'un événement par nuit (22h-6h).

Les autres sites présentent un nombre total d'événements sonores hélicoptères de l'ordre de 10 à 16 événements par jour, dont environ 8 à 13 événements en journée (6h-18h), 1 à 3 événements en soirée (18h-22h) et moins d'un événement par nuit (22h-6h).

Il apparaît que les différents sites de mesure sont exposés à des niveaux de bruit Lden « hélicoptères » compris entre 40,6 et 51 dB(A) pour tous les types de jours confondus, entre 40,7 et 50,8 dB(A) en jours ouvrés et entre 40,2 et 52 dB(A) le week-end.

Les niveaux de bruit Ln « hélicoptères » en période nocturne sont compris entre 26,3 et 39,6 dB(A) pour tous les types de jours confondus, entre 23,8 et 38,2 dB(A) en jours ouvrés et entre 28,2 et 40,8 dB(A) le week-end.

Ces niveaux sont tous inférieurs aux valeurs limites réglementaires de 55 dB(A) (Lden) et de 50 dB(A) (Ln) prises en application de la directive européenne 2002/49/CE.

A titre indicatif, les valeurs en Lden et en Ln sont comparées aux objectifs de qualité sonore recommandés par l'Organisation Mondiale de la Santé pour une exposition au bruit des avions. A noter que ces objectifs ont été déterminés à partir d'études réalisées auprès de populations exposées à du bruit d'avions autour de grands aéroports. Elles correspondent à un contexte différent de celui de l'héliport mais sont les seules recommandations existantes pour le bruit d'aéronefs. Sur les sites Issy-Berteaux et Paris-Frères-Voisins, les niveaux de bruit Lden associés au bruit des hélicoptères sont supérieurs à l'objectif de qualité de 45 dB(A) recommandé par l'Organisation Mondiale de la Santé vis-à-vis du bruit des avions. Les niveaux de bruit Ln associés au bruit des hélicoptères sont, quant à eux, inférieurs à l'objectif de qualité de 40 dB(A) pour l'ensemble des sites.

Les résultats font apparaître que sur la quasi-totalité des sites, le nombre d'événements sonores « hélicoptères » détectés a été supérieur le week-end à celui détecté en jours ouvrés, en particulier en soirée et la nuit.

Cela est très probablement en lien avec la coupe du monde de rugby ayant eu lieu en septembre/octobre qui a entraîné des vols d'hélicoptères les soirs de matchs pour des raisons de sécurité (vols vers le Stade de France).

A titre indicatif, une dizaine de matches a eu lieu au cours de la période de mesure, les vendredi, samedi et dimanche (voir liste ci-contre).

<i>Soirs de matches au Stade de France pendant les mesures</i>
vendredi 8 septembre 2023
samedi 9 septembre 2023
samedi 23 septembre 2023
samedi 7 octobre 2023
samedi 14 octobre 2023
dimanche 15 octobre 2023
vendredi 20 octobre 2023
samedi 21 octobre 2023
vendredi 27 octobre 2023
samedi 28 octobre 2023

Les données livrées (liste des événements sonores) seront post-traitées par Airbus Helicopters afin de fournir à l'Université Gustave Eiffel les indicateurs acoustiques d'exposition au bruit des hélicoptères pour chaque participant à l'enquête. Ces indicateurs seront ensuite exploités en lien avec les réponses au questionnaire de gêne.

# BRUIT EN ÎLE-DE-FRANCE

**PUBLICATION : JANVIER 2024**

**BRUITPARIF**  
CENTRE D'ÉVALUATION TECHNIQUE  
DE L'ENVIRONNEMENT SONORE EN ÎLE-DE-FRANCE

Axe Pleyel 4 – B104  
32 boulevard Ornano  
93200 Saint-Denis

01 83 65 40 40  
demande@bruitparif.fr



**BRUITPARIF**