



Grand projet Vernier-Meyrin-Aéroport

Etude bibliographique

Bruit des avions et formes urbaines

Rapport de synthèse

Mandant: République et canton de Genève

Département de l'aménagement du logement et de l'énergie (DALE) & Département de l'environnement, des transports et de l'agriculture (DETA)

Date : 17.1.2017 Réf. 6032/VD

Table des matières

1.	Int	rodu	ction	3
2.	Sit	tuatio	on en Suisse	3
3.	Pr	opag	gation en milieu urbain	4
	3.1	Anr	nées 1970	4
	3.2	Anr	nées 2000	5
	3.3	Etu	ides récentes	8
	3.3	3.1	France	8
	3.3	3.2	Allemagne	10
	3.3	3.3	Hollande	13
	3.4	Atte	énuation latérale à proximité des aéroports	14
4.	Co	nclu	sion	15
5.	Ré	éfére	nces	16

1. Introduction

Dans le cadre du mandat d'étude sur le bruit des avions et les formes urbaines nous avons effectué une brève étude bibliographique afin de déterminer l'état de la recherche dans les deux domaines suivants :

- Etudes menées en suisse sur le bruit des avions (gêne, modélisation)
- Propagation du bruit des avions en milieu urbain.

Un complément d'étude pourrait être effectué sur les domaines suivants (environ 200 articles déjà réunis)

- Elaboration des bases légales et jurisprudence en Suisse
- Statistiques du bruit autour des aéroports suisses.
- Gêne du bruit des avions
- Effets sur la santé et coût du bruit des avions
- Evaluation du bruit des avions (modèles de calculs et mesurages, paramètres d'évaluation)

2. Situation en Suisse

La suisse, et en particulier l'EMPA, a toujours été est très active dans la recherche dans le domaine du bruit de l'aviation.

Plusieurs études portent sur la modélisation du bruit des avions, qui ont conduit aux modèles de simulation Flula2 puis SonAIR qui devrait le remplacer (Zellmann, Wunderli, & Schäffer, 2013). Un effort particulier a été réalisé sur la modelisation de l'émission, avec la création d'une grande banque de donnée de directivités 3D réalisée à partir de nombreux mesurages au sol (Pietrzko & Hofmann, 1988), régulièrement mis à jour et bien adapté pour décrire les phases de décollage et d'atterrissage (Schäffer, Zellmann, Krebs, Plüss, & Eggenschwiler, 2012). La modelisation de la propagation du bruit est également l'objet de recherches et d'amélioration, en particulier pour les effet météo et les reflexions, qui ont conduit au modele SonX (EMPA, 2015), implémenté dans SonAIR. G. Thomann a étudié, dans le cadre de sa thèse (Thomann, Mess- und Berechnungsunsicherheit von Fluglärmbelastungen und ihre Konsequenzen, 2007), la fiablilité du modèle de calcul Flula2 par rapport au résultats de mesurages in situ. Il conclue que les résultats des simulations du niveau moyen annuel coincident avec les valeurs obtenues par mesurages dans le cadre du monitoring effectué à divers emplacements autour de l'aéroport (écart de 1 à 2 dB). Ces modèles présentent toutefois des incertitudes qui ont été clairement identifiées (Thomann & Bütikofer, 2007).

Parmis les nombreux sujets touchant au bruit des avions (Desarnaulds, 1989), de nombreuses études ont été menées sur la gêne autour des aéroports de Zürich et dans une moindre mesure de Genève. Les premières études, ont été conduites au début des années 70. Une analyse sur base d'enquête effectuée en 1991 (Oliva, Hofmann, Kruger, Meloni, & Rabinowitz, 1993) a montré que l'activité la plus perdurbée par le bruit des avions est la communication orale. Ces études ont servi de base à l'élaboration, à la fin des années 1990, des valeurs limites pour le bruit des aéroport nationaux (OFEFP, 1998). L'étude effectuée 10 ans plus tard, montre que la gêne basée sur une situation fenêtre ouverte ou à l'extérieure est plus faible que prévue et inférieure à celle relevée en 1991 (Wirth K., 2004).

Les grandes études menées en 2001 et 2003 autour de Kloten (Brink, Wirth, Schierz, Thomann, & Bauer, 2008) établissent clairement la relation entre la gêne et le niveau d'évaluation Lden qui est 5 à 10 dB plus élevé que les prévision selon les modèles européens. La gêne a tendance à augmenter dans les dernières décénies. Il semble que le modèle Flula2 surestime cependant les niveaux d'évaluation au dessous de 55 dB(A). Le changement de programme de vol (en particulier le matin et le soir) entraîne une augmentation notable de la gêne (Schäffer, Bütikofer, Plüss, & Thomann, 2011).

Dans le cadre du projet Sonorus (http://fp7sonorus.eu/) sur l'amenagement urbain visant de bonnes qualités acoustiques et sur la base de leur expérience sur la modélisation et la propagation du bruit des avions, l'EMPA s'est récemment lancé dans une étude sur l'auralisation en laboratoire du bruit des avions en milieu urbain qui tient compte des reflexions et des écrans des bâtiments (Rietdijk, 2014). Les premiers résultats présentés en 2016 (Rierdijk & Heutschi, 2016), montrent cependant que 80% des participants détectent une auralisation (sur base de modélisation) par rapport à un enregistrement. L'auralisation est jugée plus génante par rapport à un enregistrement, car plus « métallique ». Cette méthode reste toutefois prometteuse pour décrire la perception et la gêne du bruit des avions en milieu urbain.

Certaines études internationales montrent cependant que la gêne du bruit des avions n'est pas seulement liée au niveau sonore (exprimé Ldn) mais également fortement liée à des effets non acoustiques comme le « niveau de tolérance communautaire » (Fidell & Mestre, 2011) ou la présence de pièces peu exposées au bruit dans l'appartement (de Kluizenaar, Salomons, Janssen, & van Lenthe, 2011). Des études montrent également l'importance de l'interaction entre la vision de la source et son audition (Hong & Jeon, 2013). La gêne liée au bruit des avions touche non seulement les bâtiments mais également les espaces extérieurs, en particulier les lieux récréatifs (Krog, Engdahl, & Tambs, 2010).

La récente publication zurichoise sur l'aménagement acoustique des espaces publics propose diverses solutions d'aménagement qui peuvent s'appliquer également au bruit des avions (Maag, Kocan, & Bosshard, 2016)

De nombreuses études se sont penchées dans les dernières décennies sur la propagation du bruit dans les milieux construits, en particulier pour le bruit routier (Sanchez, 2016). En Suisse, l'EMPA a par exemple proposé un modèle pour quantifier analytiquement l'augmentation du bruit routier issu des réflexions contre les façades de bâtiments bordant une rue (Heutschi, 1995) qui est recommandée comme correction du modèle routier suisse (OFEFP, Information concernant l'OPB No 6, 1995). Cependant, concernant le bruit des avions, le manuel du bruit aérien, récemment publié par l'OFEV (OFEV, 2016) précise ainsi les exigences relatives aux calculs et en particulier les conditions de propagation du bruit (§3.3.2): « L'influence du type de sol (p. ex. surfaces construites ou agricoles) sur l'effet de sol ne fait pas encore partie de l'état de la technique actuel. Les calculs partent donc du principe qu'il s'agit de champs («soft ground»). [...] «Les réflexions et les atténuations dues aux bâtiments n'ont en général, pour le bruit des avions non terrestre, guère d'effet sur les résultats des calculs, vu que le bruit est émis par des sources se déplaçant dans les airs. A fortiori pour prendre en compte tous les objets des zones habitées survolées, le calcul déjà complexe pour le bruit aérien deviendrait trop compliqué pour être encore faisable. Il n'existe actuellement aucun programme de calcul du bruit aérien qui tienne compte des bâtiments. Cette exigence ne correspond donc pas (encore) à l'état de la technique. Pour les motifs exposés ici, le calcul de l'effet des bâtiments n'est pas exigible. »

Pourtant, les modèles de propagation (ISO 9613 ou SonX) intègrent des algorithmes plus ou moins complexes pour tenir compte des effets de sol, d'écran et des réflexions contre les bâtiments.

3. Propagation en milieu urbain

3.1 Années 1970

Depuis les années 70, les acousticiens se sont posés la question de l'influence du milieu bâti sur la propagation du bruit des avions.

Ainsi Lyon (Lyon, 1974) a analysé les études portant sur les réflexions multiples et la réverbération engendrée par un environnement densément construit sur le bruit pour une source au sol ou dans les airs. Il a mis en évidence, dans les deux cas, l'importance de la diffusion. Pour des sources aériennes, on constate une bonne correspondance entre les résultats mesurés en laboratoire (sur des modèles réduits) et ceux obtenus par calculs. Ainsi le niveau maximum du bruit des avions est augmenté de 2 +/- 2 dB(A) par rapport au champ direct par la canalisation du son dans une rue (channeling effect, cf. figures ci-dessous).

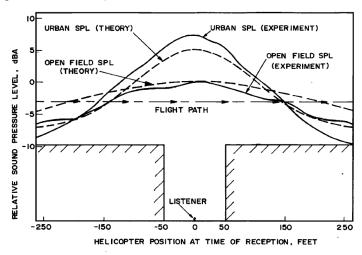


FIG. 10. Comparison of calculated and measured sound levels in city street due to helicopter flyover (Ref. 10).

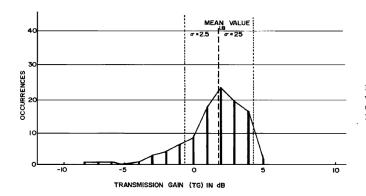


FIG. 18. Histogram of transmission gain values measured in 1:64 scale model of urban area for low fly-by of aircraft (Ref.

Sur la base de plusieurs modèles expérimentaux ce même auteur a développé une méthode de calcul pour prédire l'augmentation, par rapport à un terrain inoccupé du bruit des avions lié à une situation avec plusieurs bâtiments (Donavan & Lyon, 1974). Avec ce modèle et des considérations psychoacoustiques relativement simple, il a déterminé les géométries urbaines qui minimisaient l'intrusion acoustique dans le cas d'avion. Les résultats détaillés de cette étude sont présentés dans la thèse effectuée par Donavan à Berkeley et au MIT, sous la direction de Lyon (Donavan, 1973).

Avec des sources sonores situées au-dessus des toits des maisons pour simuler des avions, Pande (Pande & Lyon, 1972) a effectué des mesurages in situ pour évaluer et prédire (avec des abaques) la réverbération, l'amplification et les effets d'écran de divers environnement construits.

3.2 Années 2000

Une étude anglaise (Ismail, September 2002), basée sur un modèle de source image a montré que le bruit des avions augmentait dans une rue en canyon linéairement avec le rapport entre l'altitude de vol et la hauteur des bâtiments ainsi que la largeur de la rue. Dans une rue étroite (20 m), le gain de transmission par rapport à un terrain non construit (champ libre) peut être de 6 dB pour le niveau maximum dans les cas les plus défavorables (cf. fig. 10 et fig. 5) en considérant des réflexions spéculaires mais seulement 3 à 4 dB(A) si on considère les phénomènes de diffusion (cf. fig. 11). Ceci correspond à une augmentation du niveau effectif perçu (EPNL, lié au niveau énergétique moyen) d'environ 1 dB en considérant des réflexions spéculaires (cf. fig. 6) mais de de 0 à -2 dB(A) en considérant la diffusion, cf. fig. 12).

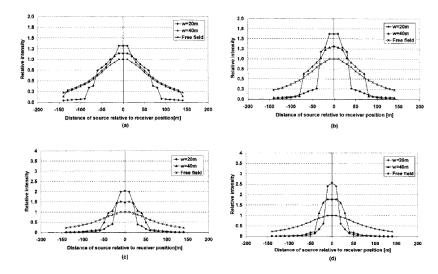


Figure 10 Predictions of the effect of the enclosing ratio (street height street width H_h /w) on the intensity signature of a street flyover for different geometrical configurations obtained with the specular/diffusive model (a) $H_f = 60 \text{m} H_b = 10 \text{m}$

(b) $H_f = 60 \text{m} H_b = 20 \text{m}$

(c) $H_b' = 60 \text{m} H_b = 30 \text{m}$

(d) $H_f = 60 \text{m} H_b = 40 \text{m}$

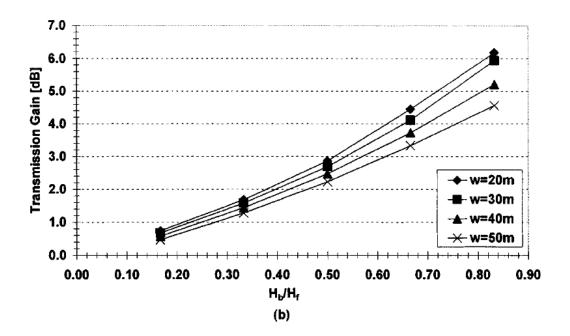


Figure 5 The transmission gain L_{PEAKr} for different H_f/H_b ratios and street widths

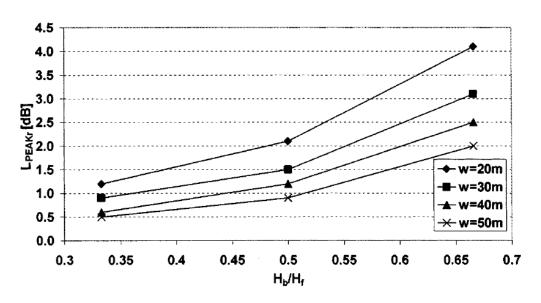


Figure 11 The transmission gain $L_{\it PEAKr}$ predicted using the specular/diffuse model for different H_f/H_b ratios and street widths

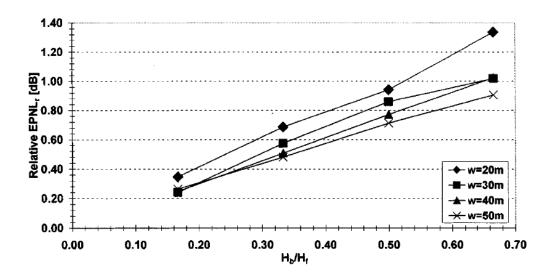


Figure 6 The relative single event level $EPNL_r$ for different H_f/H_b ratios and street widths

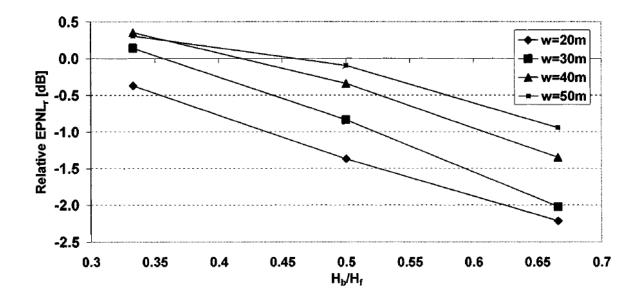


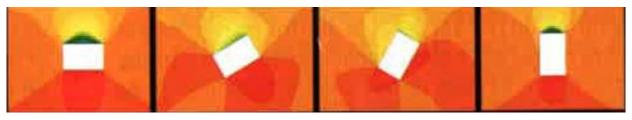
Figure 12 The relative effective perceived noise level, $EPNL_r$, predicted using the specular/diffuse model for different H_f/H_b ratios and street widths

3.3 Etudes récentes

3.3.1 France

En France, les plans d'exposition au bruit (PEB) et les plans de gêne sonore (PGS) sont basés sur des modélisations qui intègrent le relief du terrain mais pas les constructions. Une récente étude s'est donc penchée sur l'évaluation des effets du bâti sur l'exposition sonore des riverains d'aéroports (Bigot, Droin, Roland, & Gaulupeau, 2013). En se basant sur la modélisation avec un logiciel commercial (CadnaA avec méthode AzB et propagation selon ISO 9613) des couloirs d'approche et de décollage d'un avion A320, l'auteur a déterminé les effets d'écrans et de réflexions pour des typologies urbaines relativement simples. Les principaux paramètres étudiés sont la distance latérale (500 m à 1500 m) de la piste, les phases de vol (atterrissage, décollage), ainsi que la hauteur (R+3 à R+7), l'orientation, la forme et le nombre des bâtiments. Les résultats sont traités de façon comparative (sans/avec influence du bâti) avec des conclusions plus qualitatives que quantitative. Une validation de la méthode a été effectuée au moyen de mesurages in situ à l'avant et l'arrière d'un bâtiment. Les conclusions, intuitivement prévisibles, de cette étude sont les suivantes :

- Pour un bâtiment isolé, la protection de la façade arrière est meilleure si l'immeuble est placé parallèlement à l'axe de la piste et si l'angle d'incidence est faible (bâtiment éloigné latéralement de la piste)



- Dans le cas de deux bâtiments disposés l'un derrière l'autre perpendiculairement à l'axe de la piste, les réflexions multiples entre bâtiments annihilent l'effet d'écran sur sa façade arrière quand l'espacement entre immeubles est inférieure à une soixantaine de mètres.



Fig. 3 : Vue en coupe de 2 bâtiments (la trajectoire des avions se situe à droite de la figure à 1km environ).

L'atténuation sonore entre les 2 bâtiments est quasiment nulle par rapport à la situation sans bâtiment

Il faut ainsi donc favoriser les bâtiments non parallèles, bien espacés et les variations de hauteurs (bâtiments plus petit à l'arrière (dans l'ombre) d'un bâtiment plus grand formant écran).



- Les réflexions multiples peuvent être partiellement atténuées par des façades absorbantes (par exemple végétalisées, comme pour le bruit routier dans une rue en U).

- Une casquette horizontale (largeur 3 m) au sommet d'un immeuble, permet une atténuation significative aux étages élevés (les plus exposés au bruit des avions) et une homogénéisation des niveaux sonore à l'arrière du bâtiment

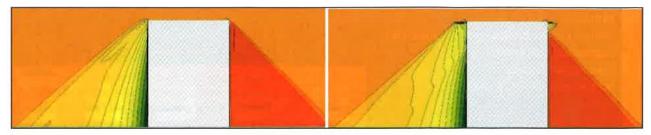


Fig. 4 : Impact d'une casquette horizontale de 3m (figure de droite), par rapport à un bâtiment sans casquette (figure de gauche). La trajectoire des avions se situe à droite de la figure à 1km environ

- En ce qui concerne la forme des bâtiments, une disposition en « U » ou « V » est la plus intéressante en matière de façade calme



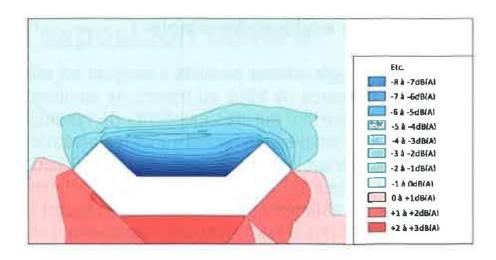


Fig. 5 : Atténuations apportées par une forme en U-V. La trajectoire des avions se situe en bas de la figure à 1 km environ, et les gains acoustiques sont indiqués en bleu par pas de 1 dB(A)

3.3.2 Allemagne

En Allemagne, une récente étude s'est intéressée aux effets de réflexion et de diffusion du bruit des avions par un gratte-ciel (Techen, Knaack, & Krimm, 2015).

Dans une première partie, des mesurages in situ ont été effectués avant et après la démolition de la tour Henninger située près de l'aéroport de Franfurt am Main. Cette tour de béton, de 80 m de haut et 20 m de large, est située de 8000 à 2600 m des couloirs aériens. Les 2 positions de mesurages situées derrière (MP1) et à côté (MP2) d'un bâtiment, formant écran pour le bruit des avions (cf. figure cidessous).

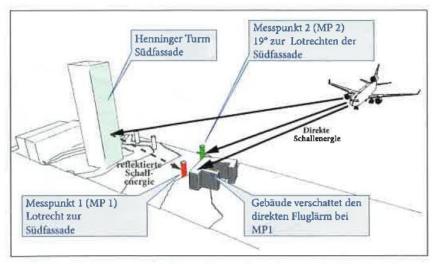
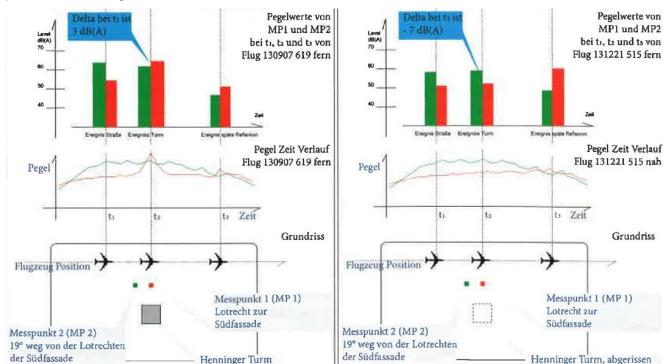
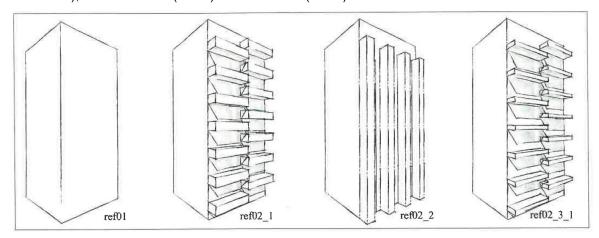


Bild 6 Feldmessung Henninger Turm, Anordnung der Messpunkte MP1 und MP2 und räumliche Anordnung in Bezug zum Turm und zur vorbeiführenden Anflugroute des Frankfurter Flughafens.

Les mesurages en présence de la tour, montrent une forte reflexion (augmentation du niveau sonore au temps t2) pour la position MP1, située à l'arrière du bâtiment (cf. figure de gauche ci-dessous). En l'absence de la tour cette réflexion disparait (cf.figure de droite ci- dessous). En comparant les deux situation, l'effet de la reflexion peut être estimé à environ10 dB(A) sur le niveau maxium dans ce cas particulier de cette grande tour.



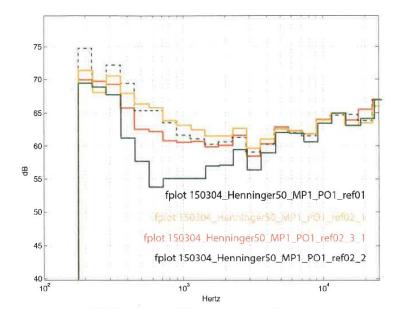
La deuxième partie de l'étude porte sur l'analyse de la texture de la façade au moyen de mesurages sur un modèle réduit au 1:50. Différentes surfaces sont réalisées pour la maquette de la tour (cf. figure ci-dessous), réféchissantes (refl01) ou diffusantes (refl02).



L'analyse comparative des résultats montre une amélioration de 10 dB en supprimant la tour (conforme aux mesurages in situ pour la position MP01 mais pas MP02). Par rapport à une surface réfléchissante, les meilleurs résultats sont obtenus avec des lames verticales (amélioration de 6 à 8 dB pour refl02_2), puis des balcons fin (amélioration de 2 à 4 dB pour refl02_3_1). Les balcons épais (refl02_1) améliore la situation pour la position latérale (-3 dB pour MP2) mais péjore celle bénéficiant d'un effet d'écran (+2 dB pour MP1).

Anord-	Bezeich-	Beschreibung	Fläche	Fläche	Orientierung	Max ∆	Max ∆	Bemerkung
nung	nung		Front-	Grund-	der Front-	in dB bei	in dB bei	
			ebene	ebene	ebenen-	1 kHz zu	1 kHz zu	
					elemente	ref01	ref01	
						in MP1	in MP2	
1	ref0_0	Turm nicht vorhanden	0 cm ²	0 cm ²	entfällt	-10 dB	-8 dB	Bezugswert zur Feld- messung
2	ref01	Messingblech plan,1 mm dick, 450 mm x 200 mm	900 cm ²	900 cm ²	entfällt	O dB	O dB	Bezugswert zur Beurtei- lung von Modifikationen
3	ref02_1	Holzklötze horizontal versetzt, 30 mm tief, 100 mm x 20 mm	280 cm ²	900 cm ²	horizontal	+2 dB	-3 dB	Pegelerhöhung in MP1, Pegelabnahme in MP2
4	ref02_2	Holzklötze vertikal 4 reihig, 30 mm tief, 400 x 20 mm	320 cm ²	900 cm ²	vertikal	-6 dB	-8 dB	Starke Pegelabnahme in den Messpunkten MP1 und MP2
5	ref02_3_1	Holzklötze horizontal versetzt, 30 mm tief, 100 mm x 10 mm	140 cm ²	900 cm ²	vertikal	-2 dB	-4 dB	Pegelabnahme in den Messpunkten MP1 und MP2

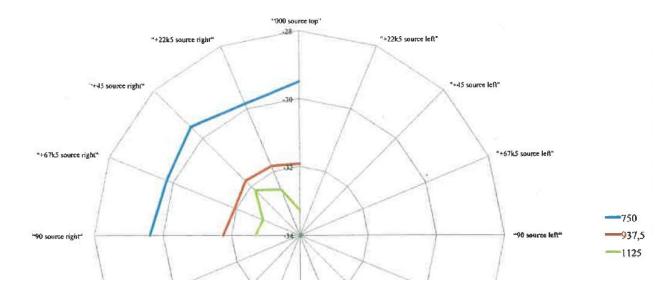
L'analyse en fréquence montre que l'effet de la diffusion est surtout important entre 400 et 2000 Hz.



La troisième partie de l'étude porte sur l'analyse des caractéristiques de diffusion de la texture de la façade au moyen de mesurages sur un modèle réduit au 1:1 à 1:10.



L'analyse des diagramme de diffusion montre que certaines directions sont privilégiées à certaines fréquences suivant l'écartement des lames (par exemple à 45 degrés à 1125 Hz pour la configuration de type 2, cf. ci-dessus à gauche).



3.3.3 Hollande

En Hollande, les effets d'écran des bâtiments pour le bruit des avions sont analysés à partir de deux situations particulière près de l'aéroport de Schiphol (Lugten, Steemers, & Kang, 2016).

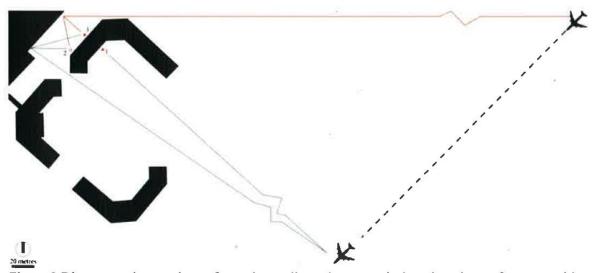


Figure 3 Diagrammatic snapshots of sound rays dispersion towards the microphones for two positions of an aircraft (horizontal difference between source and microphones are not drawn to scale).

Sur la base de mesurages in situ (26 atterrissage et 19 décollages), simultanés à l'avant et à l'arrière de bâtiments, des atténuations par effet d'écran de 10 dB(A) (moyenne pour 26 atterrissages) à 14 dB(A) (moyenne pour 19 décollages) ont été relevées (cf. exemple temporelle dans la figure cidessous).

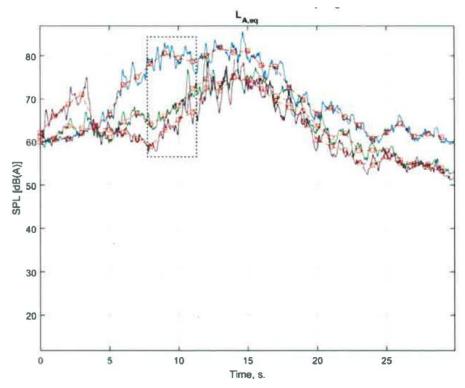
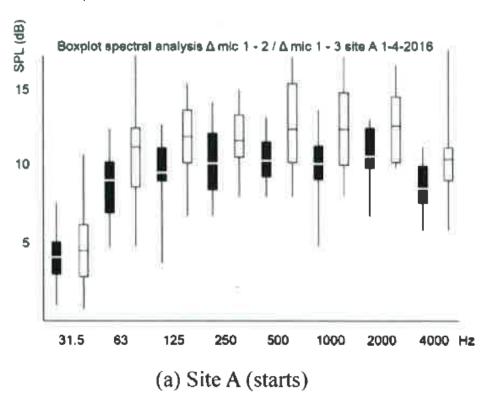


Figure 5 Results for airplane 12 around 14:12:35 at site A (April 1th), blue: microphone 1, purple: microphone 2, green: microphone 3, dashed lines indicate the position of the first peak. Differences between microphones are based on L_{AEO} values calculated over the four seconds lying within the dashed frame.



Les atténuations par effet d'écran sont surtout situées dans les bandes d'octaves de 125 et 250 Hz.

Les effets d'écran peuvent cependant être réduits par les phénomènes de réflexions et de diffractions des bâtiments voisins ainsi que par les turbulences atmosphériques et le vent. Cette méthode d'analyse sur une petite fenêtre fréquentielle (4 s) est cependant adéquate pour évaluer les effets d'écran pour une source ponctuelle se déplacant rapidement, lorsque les conditions climatiques sont calmes.

3.4 Atténuation latérale à proximité des aéroports

Par ailleurs, une étude (Fidell, Silvati, Pearsons, Lind, & Howe, 1999) a montré qu'à proximité des aéroports, le faible angle d'incidence de la source et les constructions atténuait les hautes fréquences ce qui conduisait à une augmentation relative des basses fréquences rendant l'évaluation du bruit non pertinente avec la pondération A. Sur la base d'enquêtes sur le terrain, il a été déterminé que les voisins des aéroports sont particulièrement dérangés par des composantes fréquentielles situées entre 25 et 80 Hz supérieur à 75 dB engendrant des vibrations et bruit secondaires (rattle).

Cette perception des basses fréquences et la gêne en résultant avait été déjà mise en évidence par M. Looten (Looten, 1993), riverain de l'aéroport de Genève, qui dénoncait l'inadéquation de l'utilisation du dB(A) dans les zone proches de l'aéroport.

Une récente étude japonaise (Kazuyuki, Shinohara, & Yoshioka, 2016) montre l'importance des effets d'atténuation latérales pour prédire le bruit des avions proche des aéroports. Ces effets ont fortement évolués ces 15 dernières années avec la modification des avions. Les effets météorologiques sont par ailleurs particulièrement importants pour l'atténuation latérale. Généralement, on ne peut plus considérer le sol comme une surface plate et acoustiquement absorbante. Il faut tenir compte des changements de caractéristique des surfaces et de la propagation dans un environment construit.

Rappelons toutefois que l'émergence importante des basses fréquences à proximité des aéroports est dû à la propagation de ces fréquences (diffraction, directivité) mais surtout l'atténuation des moyennes et hautes fréquences (effets d'écran, atténuation atmosphérique) à grande distance dans les zones bâties situées latéralement par rapport aux aéroports.

4. Conclusion

Les différentes études analysées montrent que :

- Sans considération des constructions, les modèles de calculs (en particulier Flula2) permettent, dans une approche macroscopique, de bien prédire les résultats des mesurages de la moyenne énergétique annuelle du niveau de bruit des avions en diverses positions autour des aéroports (monitoring).
- L'analyse de cas particuliers montre que la présence d'un bâtiment peut toutefois entraîner une augmentation du niveau instantané (visible dans l'évolution temporelle), de 3 dB(A) devant le bâtiment (exposition directe) et jusqu'à 10 dB(A) dans la zone arrière où l'effet d'écran du bâtiment peut atteindre 14 dB(A). La prise en compte de la diffusion (dans les modèles de calcul et in situ par des mesures sur les bâtiments) réduit les contributions issues des réflexions sur les bâtiments.
- L'influence du bâti reste toutefois négligeable sur les valeurs intégrant l'énergie sur l'ensemble du passage d'un avion (SEL, Leq, EPN), en particulier sur la face la plus exposée. Cette conclusion est encore renforcée si l'on considère la valeur d'exposition annualisée (Lr).

L'intégration de la modélisation d'un environnement bâti ponctuel pour un vol typique permet de bien quantifier l'effet localisé de ce dernier. Nous emploierons donc une méthodologie très similaire à celle développés en France (Bigot, Droin, Roland, & Gaulupeau, 2013) pour analyser l'effet prévisible des projets de construction autour de l'aéroport de Genève par rapport aux bâtiments existants.

Lausanne, le 17 janvier 2016

Dr. V. Desarnaulds Acousticien Dipl. SSA

July .

5. Références

- Bigot, A., Droin, L., Roland, J., & Gaulupeau, A. (2013). Evaluation des effets du bâti sur l'exposition sonore des riverains d'aéroports. *Acoustique & Techniques n°* 72, 30-32.
- Brink, M., Wirth, K., Schierz, C., Thomann, G., & Bauer, G. (2008, 11). Annoyance responses to stable and changing aircraft noise. *Acoustical Society of America*, 2930-2941.
- de Kluizenaar, Y., Salomons, E., Janssen, S., & van Lenthe, f. (2011). Urban road traffic noise and annoyance: The effect of a quiet façade. *The Journal of the Acoustical Society of America 130*, 1936-1942.
- Desarnaulds, V. (1989). Aircraft noise evaluation. Montreal: McGill University.
- Donavan, P. R. (1973). Model Study of the Propagation of Sound from V/STOL Aircraft into Urban Environs.

 Boston: MIT.
- Donavan, P. R., & Lyon, R. H. (1974). Model Study of the Propagation of Sound from V/STOL Aircraft into Urban Environs. *Journal of the Acoustical Society of America, Volume 55, Issue 2*, 485 (Abstract).
- EMPA. (2015). Dokumentation des sonX Ausbreitungsmodells. Dübendorf: EMPA.
- Fidell, S., & Mestre, V. (2011, 08). A first-principles model for estimating the prevalence of annoyance with aircraft noise exposure. *J. Acoust. Soc. Am.*, 791-806.
- Fidell, S., Silvati, L., Pearsons, K., Lind, S., & Howe, R. (1999). Field study of the annoyance of low-frequency runway sideline noise. *Journal of the Acoustical Society of America Volume 106, Issue 3*, 1408-1415.
- Heutschi, K. (1995). A simple method to evaluate the increase of traffic noise emission level due to buildings, for a long straight street. *Applied Acoustics* 1995; 44(3), 259–274.
- Hong, J. Y., & Jeon, J. Y. (2013). Designing sound and visual components for enhancement of urban soundscapes. *The Journal of the Acoustical Society of America* 134, 2026-2036.
- Ismail, M. R. (September 2002). The Effect of the Urban Street Canyon on the Noise from Low Flying Aircraft. *Building Acoustics* 9(3), 233-251.
- Kazuyuki, H., Shinohara, N., & Yoshioka, H. (2016). Study of lateral attenuation for aircraft noise modeling based on field measurements near the airport. *The Journal of the Acoustical Society of America Vol* 140(4).
- Krog, N. H., Engdahl, B., & Tambs, K. (2010). Effects of Changed Aircraft Noise Exposure on Experimential Qualities of Outdoor Recreational Areas. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 3740-3759.
- Looten, A. (1993). Fundamental inadequacies of standard noise measurements around airports to assess the annoyance to the communities. *Inter Noise*, (pp. 125-130). Leuven .
- Lugten, M., Steemers, K., & Kang, J. (2016). An experimental study on the shielding performance of buildings exposed to aircraft noise comparing measurements near front and rear facades. *Internoise*, (pp. 7180-7190). Hamburg.
- Lyon, R. H. (1974). Role of multiple reflections and reverberation in urban noise propagation. *The Journal of the Acoustical Society of America, Volume 55, Issue 3*, 493-503.
- Maag, T., Kocan, T., & Bosshard, A. (2016). *Klangqualität für öffentliche Stadt-und Siedlungsräume.* Zürich, Tiefbauamt Fachstelle Lärmschutz: Chancen im Lärm Klangraumgestaltung,
- OFEFP, C. d. (1998). 296 Valeurs limites d'exposition au bruit des aéroports nationaux. Berne: OFEFP.
- OFEFP, Information concernant l'OPB No 6. (1995). Bruit du trafic routier: correction applicable au modèle de calcul du trafic routier. Berne: OFEFP.
- OFEV. (2016). *Manuel du bruit aérien Instructions pour la détermination du bruit.* Berne: L'environnement pratique, Office fédéral de l'environnement OFEV, Office fédéral de l'aviation civile OFAC, Secrétariat général DDPS.
- Oliva, C., Hofmann, R. H., Kruger, Meloni, T., & Rabinowitz, J. (1993). Gêne due au bruit des avions dans le voisinage des aéroports nationaux suisses. *Médecine et Hygiène, 51*, 1806-1808.
- Pande, L., & Lyon, R. (1972). Model Study of Aircraft Noise Reverberation in a City Street. *Acoustical Society of America 52(169)*, (abstact).
- Pietrzko, S., & Hofmann, R. (1988). Prediction of A-weighted aircraft noise based on measured directivity patterns. *Applied Acoustics Volume 23, Issue 1*, 29-44.
- Rierdijk, F., & Heutschi, K. (2016). Auralization of aircraft noise in an urban environment. *Internoise 2016*. Hamburg.
- Rietdijk, F. (2014). Auralization of aircraft noise in an urban environment. Symposium Sonorus "Urban Sound Planner".
- Sanchez, G. M. (2016). The effect of street canyon design on traffic noise exposure along roads. *Building and Environment*, 96-110.
- Schäffer, B., Bütikofer, R., Plüss, S., & Thomann, G. (2011, 01). Aircraft noise: Accounting for changes in air traffic with time of day. *J.Acoust. Soc. Am.*, 185-199.

- Schäffer, B., Zellmann, C., Krebs, W., Plüss, S., & Eggenschwiler, K. (2012). Sound source data for aircraft noise calculations—state of the art and future challenges. *Euronoise 2012* (pp. 589-594). Prague: FAA
- Techen, H., Knaack, U., & Krimm, J. (2015). Hochhausfassaden und akustische Stadtraumgestaltung. *Laermbekaempfung Vol 10 (3)*, 117-125.
- Thomann, G. (2007). Mess- und Berechnungsunsicherheit von Fluglärmbelastungen und ihre Konsequenzen. Zurich: DISS. ETH Nr. 17433, EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH.
- Thomann, G., & Bütikofer, R. (2007). Quantification of uncertainties in aircraft noise calculations. *Inter-Noise*. Istanbul.
- Wirth K., B. M. (2004). Lärmstudie 2000: Fluglärmbelästigung um den Flughafen Zürich-Kloten. Zeitschrift für Lärmbekämpfung; V51 N2, 48-56.
- Zellmann, C., Wunderli, J. M., & Schäffer. (2013). sonAIR data acquisition for a next generation aircraft noise simulation model. *Inter-Noise*. Innsbruck.