ECOACOUSTIQUE

# Grand Projet Vernier-Meyrin-Aéroport

## Étude du bruit des avions et des formes urbaines

## Rapport final

| | |
|---|---|
| Mandant: | République et canton de Genève<br>Office de l'urbanisme (OU)<br>Département de l'aménagement du logement et de l'énergie (DALE) &<br>Service de l'air, du bruit et des rayonnements non ionisants (SABRA)<br>Département de l'environnement, des transports et de l'agriculture (DETA) |
| Date : | 30.01.2018 |
| Réf. | 6032/DM-BA |

# TABLE DES MATIÈRES

**RÉSUMÉ** ... **3**

**1. INTRODUCTION** ... **4**

**2. MÉTHODOLOGIE** ... **4**

**3. DONNÉES DE BASE ET HYPOTHÈSES DE CALCUL** ... **5**

3.1 TRAJECTOIRES DES AVIONS ... 7
3.2 ÉMISSIONS SONORES DE L'AIRBUS A320 ... 9
3.3 MÉTHODE DE CALCUL ... 10

**4. RÉSULTATS GLOBAUX** ... **15**

4.1 ENQUÊTE DE TERRAIN ... 15
4.2 CARTES GÉNÉRALES SUR L'ENSEMBLE DU PÉRIMÈTRE ... 16
*4.2.1 Situation générale et cadastre OFAC* ... *16*
*4.2.2 Situation actuelle (état 2017)* ... *17*
*4.2.3 Situation à court terme (2017 avec projets approuvés)* ... *21*
*4.2.4 Situation future (2030)* ... *23*
*4.2.5 Situation future (2050)* ... *26*
4.3 ANALYSE DE SENSIBILITÉ DES HYPOTHÈSES RETENUES ... 29

**5. RÉSULTATS DÉTAILLÉS POUR 3 SECTEURS EN PLANIFICATION** ... **30**

5.1 QUARTIER DE LA VITRINE ECONOMIQUE DE L'AÉROPORT (VEA) ... 30
5.2 QUARTIER PRÉ-BOIS ... 32
5.3 QUARTIER DU CHEMIN DE L'AVANCHET ... 33

**6. OPTIMISATION DES PROJETS** ... **34**

6.1 FORMES URBAINES ... 34
*6.1.1 Bâtiments parallèles à la piste* ... *35*
*6.1.2 Bâtiments perpendiculaires à la piste* ... *36*
*6.1.3 Bâtiments en forme de L* ... *37*
*6.1.4 Bâtiments en forme de U* ... *38*
*6.1.5 Bâtiments avec cour intérieure* ... *39*
*6.1.6 Bâtiments avec formes arrondies* ... *40*
*6.1.7 Bâtiments avec combinaison de plusieurs formes* ... *41*
6.2 FORME ET MATÉRIALITÉ DES FAÇADES ... 42
*6.2.1 Façade orientée :* ... *42*
*6.2.2 Façade absorbante :* ... *42*
*6.2.3 Façade diffusante :* ... *44*
*6.2.4 Combinaison de réflexion - absorption - diffusion* ... *45*
6.3 SOL ABSORBANT DANS LES ESPACES EXTÉRIEURS ... 46
6.4 AMÉNAGEMENT ET AFFECTATIONS DES ESPACES EXTÉRIEURS ... 46
6.5 CHOIX DE L'AFFECTATION ET DE LA TYPOLOGIE ... 47
6.6 TEMPORALITÉ DES INTERVENTIONS ET INTERACTIONS ENTRE PROJETS ... 48

**7. CONCLUSION** ... **49**

# RÉSUMÉ

Ce rapport présente les résultats de l'étude sur les bruits des avions effectuée dans le cadre du Grand Projet Vernier-Meyrin-Aéroport (GP VMA). Cette analyse a pour but d'aider les services cantonaux et les urbanistes à mieux comprendre la propagation du bruit des avions dans ce secteur pour pouvoir en tenir compte lors du développement des projets d'aménagement. Il s'agit, entre autres, de déterminer quels impacts ont les différentes formes urbaines sur la propagation du bruit, en particulier par rapport aux effets d'écran (réduisant le bruit des avions l'arrière des bâtiments) et aux effets de réflexion (augmentant le bruit à l'avant des bâtiments).

Une méthodologie a été mise en place afin d'étudier des scénarios en fonction du développement prévisible du secteur. Le modèle numérique créé a pu être adapté pour tenir compte des bâtiments actuels et des constructions futures. Sur la base des statistiques des vols de l'aéroport de Genève, différentes hypothèses ont été retenues pour les émissions sonores et les trajectoires des avions (Airbus A320 admis comme avion de référence). La méthode de calcul de la propagation du bruit utilisée est celle définie dans la norme ISO 9613-2 (logiciel CadnaA).

Les résultats globaux de cette modélisation sont les suivants :

- Sur l'ensemble du territoire, les phénomènes de réflexion du bruit des avions contre les façades des bâtiments sont moins importants que les effets d'écran. Ces deux phénomènes sont localisés uniquement dans les secteurs proches des bâtiments.
- En général, les phénomènes de réflexion contre les façades des bâtiments peuvent générer des augmentations de bruit localisées pouvant aller jusqu'à 3 dB(A). Pour certaines situations particulières (bâtiments de forme complexe présentant plusieurs façades réfléchissantes), des phénomènes de réflexions multiples peuvent provoquer des augmentations de bruit plus importantes.

Trois secteurs en cours de planification ont été approfondis. Il s'agit de la Vitrine Economique de l'Aéroport (VEA), du quartier de Pré-Bois et du quartier du chemin de l'Avanchet. Pour ces trois secteurs, une analyse plus détaillée des résultats a permis d'identifier plus précisément les emplacements où les niveaux sonores risquent d'être augmentés en tenant compte des nouvelles constructions. Diverses mesures ont été proposées afin de limiter les effets de réflexion.

Concernant l'analyse des formes urbaines, certaines dispositions permettent d'éviter des phénomènes de réflexion trop importants et de maximiser les effets d'écran, bénéfiques à la protection contre le bruit. Ainsi, les bâtiments construits de manière parallèle à la piste de l'aéroport constituent une meilleure protection contre le bruit que ceux construits de manière perpendiculaire. De même, il faut laisser suffisamment d'espace autour des bâtiments afin de ne pas augmenter les réflexions entre les bâtiments et il est important de placer les bâtiments plus hauts du côté exposé au bruit de manière à protéger les autres plus petits ainsi que les cours intérieures. Les bâtiments qui présentent une forme de L ou de U doivent être disposés de manière à limiter les faces exposées et à augmenter les surfaces protégées contre le bruit.

Un autre aspect important à prendre en compte est la présence de façades absorbantes ou diffusantes. Celles-ci permettent, tout comme des aménagements extérieurs choisis avec soin, de limiter les effets de réflexion. En dernier lieu, le choix de l'affectation des locaux et la typologie des appartements auront un impact direct sur l'exposition au bruit des habitants.

En résumé, cette étude a permis de vérifier que la densification prévue dans le secteur GP VMA ne va pas augmenter de manière significative les nuisances sonores (de manière générale, la densification du secteur permet plutôt de diminuer les niveaux de bruit) et que, pour les situations spécifiques où une augmentation de bruit pourrait se produire (par effet de réflexion du bruit contre les nouveaux bâtiments), des mesures sont possibles afin de limiter ces effets.

# 1. INTRODUCTION

Le bureau EcoAcoustique SA a été mandaté en novembre 2016 - par l'Office de l'urbanisme (OU) du Département de l'aménagement, du logement et de l'énergie (DALE) et par le Service de l'air, du bruit et des rayonnements non ionisants (SABRA) du Département de l'environnement, des transports et de l'agriculture (DETA) du canton de Genève – pour l'étude "Bruit des Avions et formes urbaines", réalisée dans le cadre du Grand Projet Vernier-Meyrin-Aéroport (GP VMA).

> *GP VMA (extrait du site internet de la République et Canton de Genève) :*
>
> *« Le projet Vernier - Meyrin - Aéroport s'étend sur un territoire de 180 hectares de part et d'autre de l'autoroute. Il comprend plusieurs secteurs : le secteur de Pré-Bois, le quartier de Blandonnet, les secteurs contigus à la halte de Vernier, Cointrin est et ouest, les Corbillettes et le quartier de l'Etang. Les objectifs de ce grand projet sont d'assurer un développement urbain cohérent et multifonctionnel, d'améliorer la mobilité et la qualité des déplacements à l'échelle locale et cantonale et de créer des quartiers où la qualité de vie prime. »*

La finalité de cette étude est d'aider ces deux services à mieux comprendre la propagation du bruit des avions dans le secteur, pour pouvoir en tenir compte lors du suivi des projets d'aménagement futurs. Il s'agit de présenter des documents cartographiques représentatifs des variations de niveaux sonores avec et sans bâtiments, ainsi que des recommandations d'ordre général pour l'implantation des nouveaux bâtiments.

Dans le cadre de ce mandat, deux démarches préliminaires ont déjà été effectuées à fin 2016 et début 2017, soit :

- Une étude bibliographique sur l'état de la recherche en ce qui concerne la propagation du bruit des avions en milieu urbain (cf. rapport EcoAcoustique SA du 17.01.2017)
- Une analyse qualitative de la situation sonore actuelle du quartier et des perceptions différenciées de la population (cf. rapport EcoAcoustique SA du 30.11.2017)

Ce rapport présente les résultats finaux de cette étude, avec en particulier la démarche méthodologique (chapitre 2), les données de bases et les hypothèses de calculs (chapitre 3), les résultats globaux sur le périmètre (chapitre 4), les résultats détaillés par secteurs (chapitre 5) et les analyses des formes urbaines et des matérialités (chapitre 6).

# 2. MÉTHODOLOGIE

En Suisse, le cadre juridique pour la détermination et l'évaluation des immissions sonores causées par l'aviation est fixé dans la loi fédérale du 7 octobre 1983 sur la protection de l'environnement (LPE) et dans l'ordonnance sur la protection contre le bruit du 15 décembre 1986 (OPB). Les cadastres de bruit effectués par l'autorité d'exécution (Office fédéral de l'aviation civile OFAC) permettent de définir les niveaux d'évaluation du bruit des avions autour des aéroports (selon annexe 5 OPB) et servent de base pour définir les éventuels assainissements du bruit des avions et pour autoriser le développement des nouvelles zones à bâtir et les demandes de permis de construire.

Pour l'aéroport de Genève le cadastre du bruit (version de mars 2009 actuellement en vigueur) se base sur le trafic de l'année 2000 (env. 170'000 mouvements par an) et a été calculé selon le modèle de calcul de type FLULA développé à l'EMPA.

Concernant le calcul du bruit des avions, le manuel du bruit aérien, récemment publié par l'Office fédéral de l'environnement (OFEV, 2016) précise encore les exigences relatives aux calculs et en particulier les conditions de propagation du bruit :

> « *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*. »

Le cadastre du bruit ne tient donc pas compte des effets d'atténuations du bruit (effet d'écran) ou d'augmentation du bruit (effet de réflexion) liés aux constructions existantes (bâtiments …), ni de la matérialité des sols (sols considérés comme absorbants).

Le but de cette étude est donc de vérifier dans quelle mesure les aménagements influencent les niveaux de bruit des avions que ce soit en réduisant ce bruit par effet d'écran ou en augmentant le bruit par réflexions. Pour cela, différentes situations ont été étudiées :

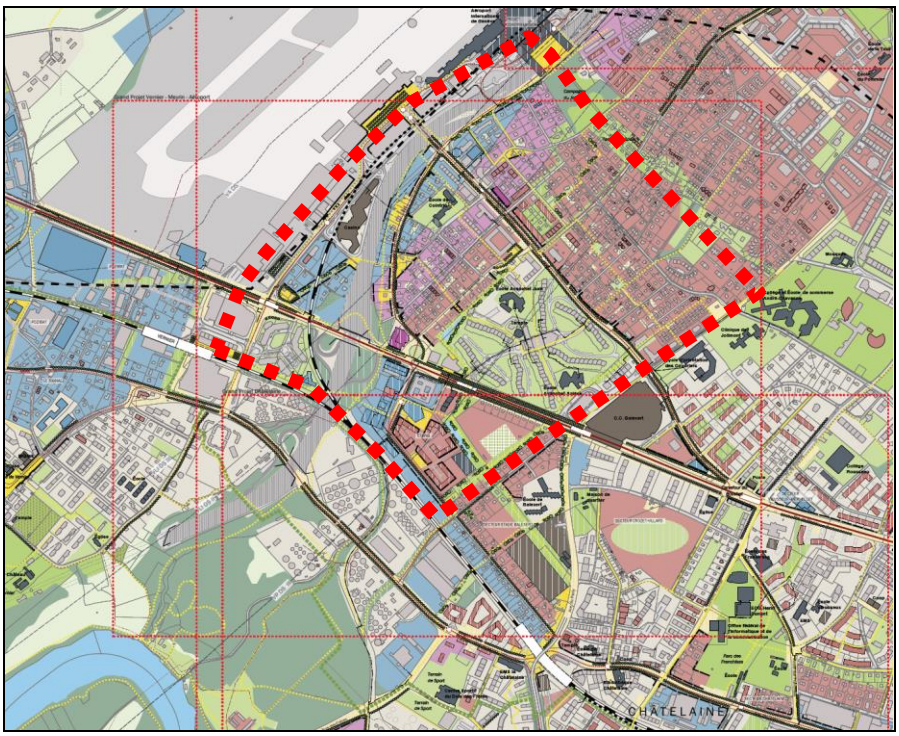
- Situation actuelle sans bâtiment : situation similaire au cadastre du bruit officiel
- Situation actuelle avec les constructions existantes (année de référence 2017)
- Situation à court terme avec les constructions actuelles et les projets approuvés
- Situation future avec bâtiments :
    - Année 2030 avec le développement partiel du secteur Vernier-Meyrin-Aéroport (quartiers de la vitrine économique de l'aéroport VEA, du chemin de l'Avanchet et de Pré-Bois),
    - Année 2050 avec le développement complet du secteur Vernier-Meyrin-Aéroport.

Les comparaisons pour ces différentes situations permettent de mettre en évidence les effets des constructions (actuelles et futures).

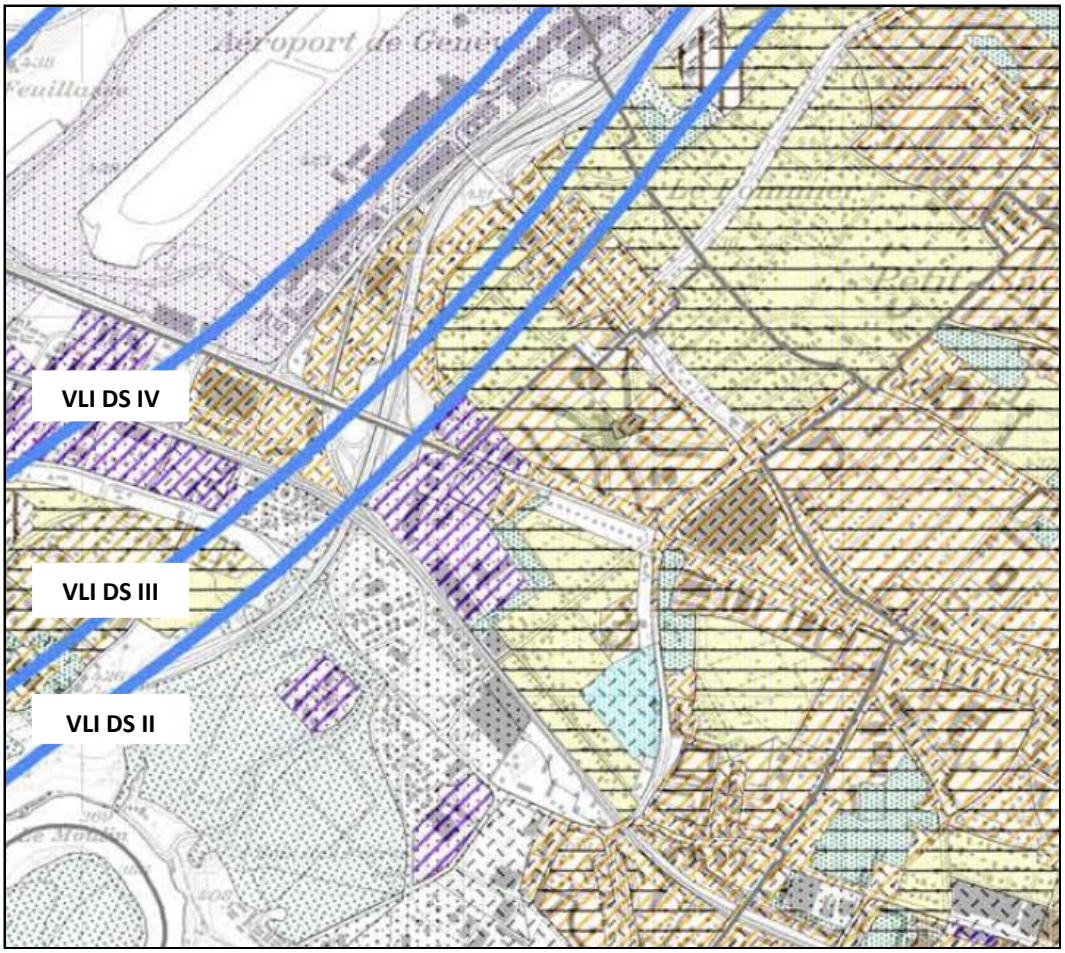
# 3. DONNÉES DE BASE ET HYPOTHÈSES DE CALCUL

Le périmètre du Grand Projet Vernier-Meyrin-Aéroport (voir figure en page suivante) est indiqué avec le sous-périmètre retenu pour les calculs du bruit des avions. Ce sous-périmètre comprend les principaux secteurs de développement du GP VMA qui se situent à proximité de l'aéroport. Il est situé au Sud de l'aéroport de Genève et est particulièrement exposé au bruit des décollages des avions sur la piste principale en direction du Sud-Ouest.

Selon le cadastre de bruit de l'OFAC (voir figure en page suivante), la partie Nord-Ouest du secteur étudié dépasse, les valeurs limites d'immission au bruit des avions pour les secteurs d'habitation, d'abord en degré de sensibilité au bruit DS III puis uniquement en DS II. Pour la moitié Sud-Ouest du secteur étudié, les valeurs limites d'immission sont respectées dans tous les cas.




*Sous-périmètre du Grand Projet Vernier-Meyrin-Aéroport retenu pour les calculs de bruit*

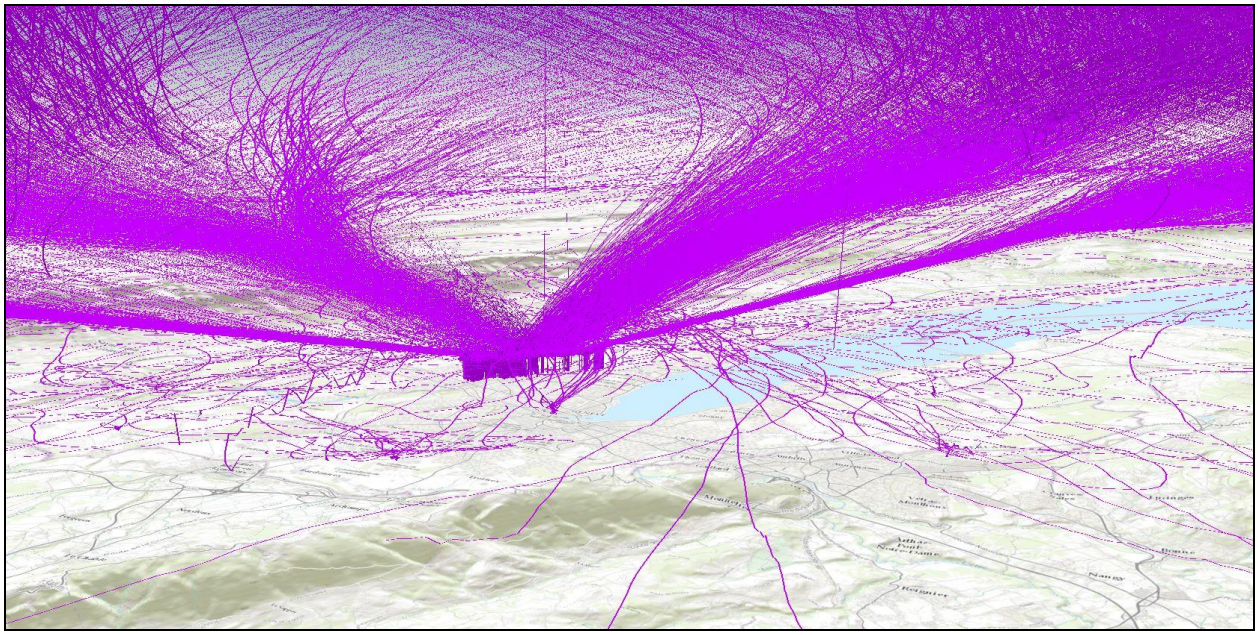



*Extrait cadastre de bruit (OFAC mars 2009) avec courbes enveloppantes (jour et nuit) des valeurs limites d'immission (VLI) en fonction des degrés de sensibilité au bruit (DS)*

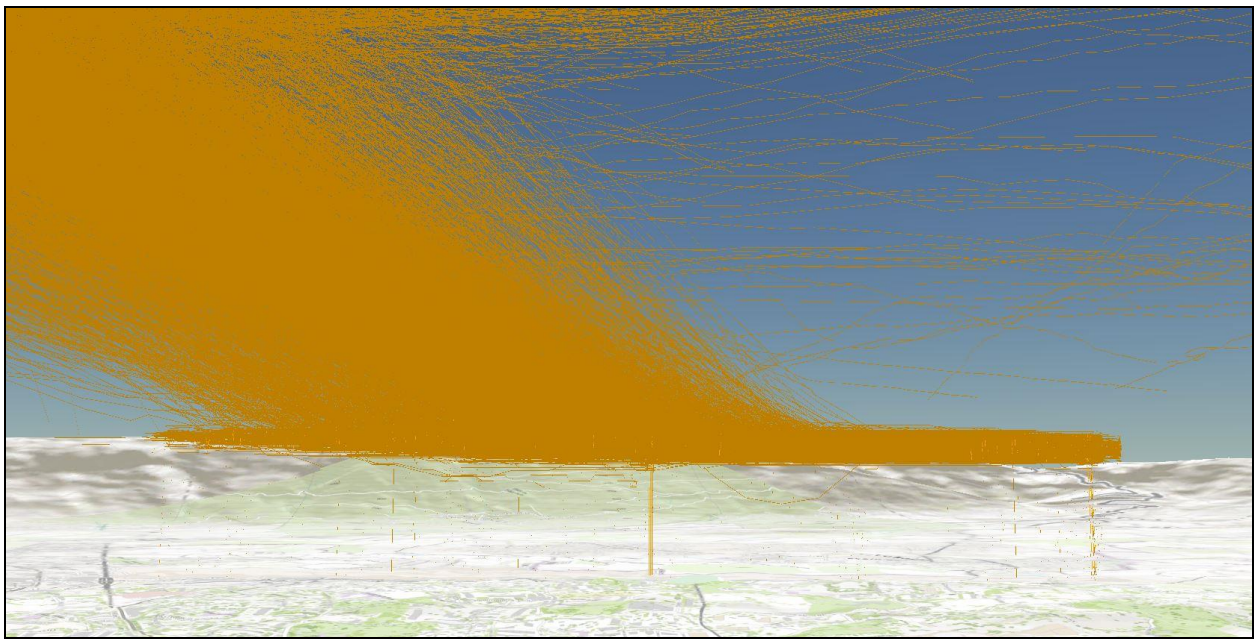
## 3.1 Trajectoires des avions

Les données d'exploitation de l'aéroport qui ont été utilisées pour les calculs (situation actuelle) sont les suivantes :

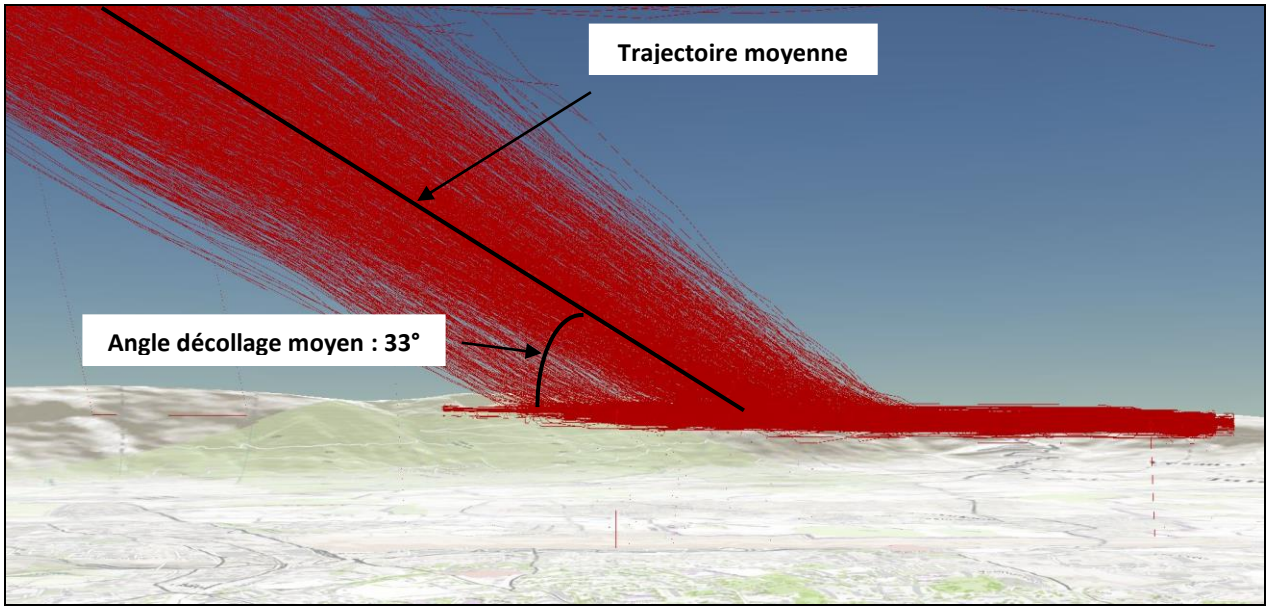
- En moyenne, les décollages/atterrissages sont répartis entre 60 % en direction du Sud-Ouest (conditions météorologiques avec vent d'Ouest) et 40 % en direction du Nord-Est (conditions météorologiques avec temps de bise)
- Selon les statistiques pour l'année 2016, le modèle d'avion le plus fréquent est l'Airbus A320-A319 qui représente près de 50 % des mouvements ; les émissions sonores de ces 2 modèles d'avion étant très proches (voir chapitre 3.2), le modèle d'avion de ligne Airbus A320 a donc été retenu comme modèle représentatif de l'exploitation actuelle de l'aéroport de Genève.
- Les trajectoires de tous les avions pour l'année 2016 sont indiquées dans les figures ci-dessous (voir figures ci-dessous pour le mois de mai 2016) ; les trajectoires de décollage des Airbus A319 et A320 montrent que la pente moyenne est de 33° (entre 29° et 39°) et que le décollage a lieu après une accélération de 2'030 mètres en moyenne (entre 1'500 mètres et 3'100 mètres). Sur les figures suivantes, le fond de plan est représenté à titre indicatif, mais son altitude est décalée par rapport à l'altitude des trajectoires des avions (altitudes réelles)



*Trajectoires de l'ensemble des décollages et atterrissages en mai 2016*



*Trajectoires de l'ensemble des décollages au Sud-Ouest en mai 2016*
*(vue 3D perpendiculaire à la piste de l'aéroport)*




*Trajectoires des décollages d'Airbus A319 et A320 en mai 2016*
*(vue 3D perpendiculaire à la piste de l'aéroport)*

Les hypothèses d'exploitation pour les années 2030 et 2050 ne sont pas encore validées au niveau des autorités. Nous avons donc considéré les mêmes hypothèses de trafic que celles retenues ci-dessus pour la situation actuelle. Même s'il est prévu une augmentation sensible du trafic pour 2030 et 2050, l'influence des constructions (bâtiments) restera similaire du fait que les trajectoires et les émissions sonores des avions ne devraient pas être modifiées de manière significative. Cette simplification permet de s'assurer qu'en comparant les différentes situations, il n'y a que les effets des constructions qui sont mis en évidence et non pas aussi une éventuelle modification de l'exploitation de l'aéroport (répartition des vols selon direction, augmentation des vols …) ou une modification des émissions sonores des avions.

## 3.2 Émissions sonores de l'Airbus A320

Le modèle d'avion Airbus A320 présente les caractéristiques suivantes du point de vue de ses émissions sonores :

- Selon la base de données Swiss Aircraft Noise Calculation Database (SANC-DB), la dose de bruit d'un Airbus A320 au décollage à pleine puissance est de 95.5 dB ($L_{AE}$ : pression acoustique pondérée A d'un événement de survol en ligne droite individuel à une distance de 305 mètres) ; pour l'atterrissage, la dose de bruit d'un Airbus A320 est de 85.7 dB ($L_{AE}$ : pression acoustique pondérée A d'un événement de survol en ligne droite individuel à une distance de 305 mètres). Les valeurs pour un Airbus A319 sont très proches (± 1 dB(A)).
- Les diagrammes de directivité pour l'Airbus A320 (voir graphique ci-dessous) montrent que latéralement il n'y a que peu de variations tant dans le plan horizontal (angle polaire entre 60° et 120°) que dans le plan vertical (angle azimutal entre 40° et 90°). Les effets de directivité sont surtout importants quand on se situe dans l'alignement de la piste de l'aéroport (devant, derrière ou sous l'avion), ce qui n'est pas le cas du secteur GP VMA qui est situé latéralement par rapport aux trajectoires des avions.
- La répartition des fréquences des émissions sonores (voir graphique en page suivante) montre que la fréquence dominante se situe autour de 500 Hz pour le décollage.

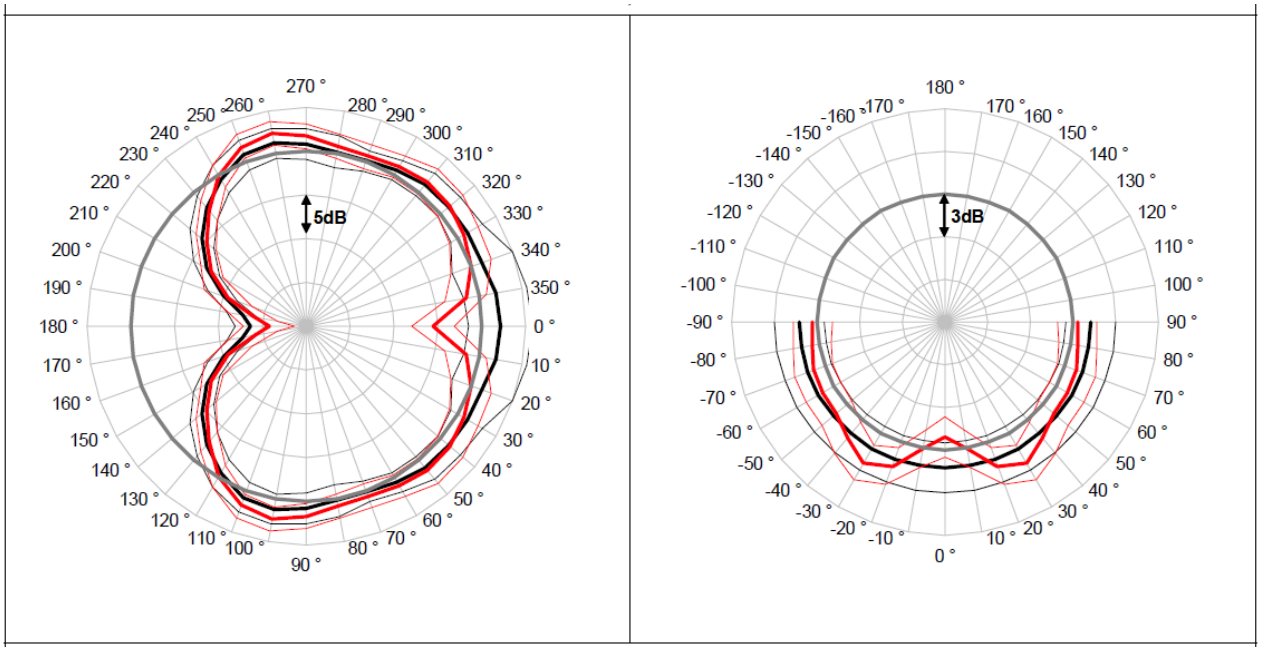



*Diagramme de directivité des émissions sonores pour l'Airbus A320 au décollage – courbe rouge en gras (à gauche plan horizontal, à droite plan vertical)*

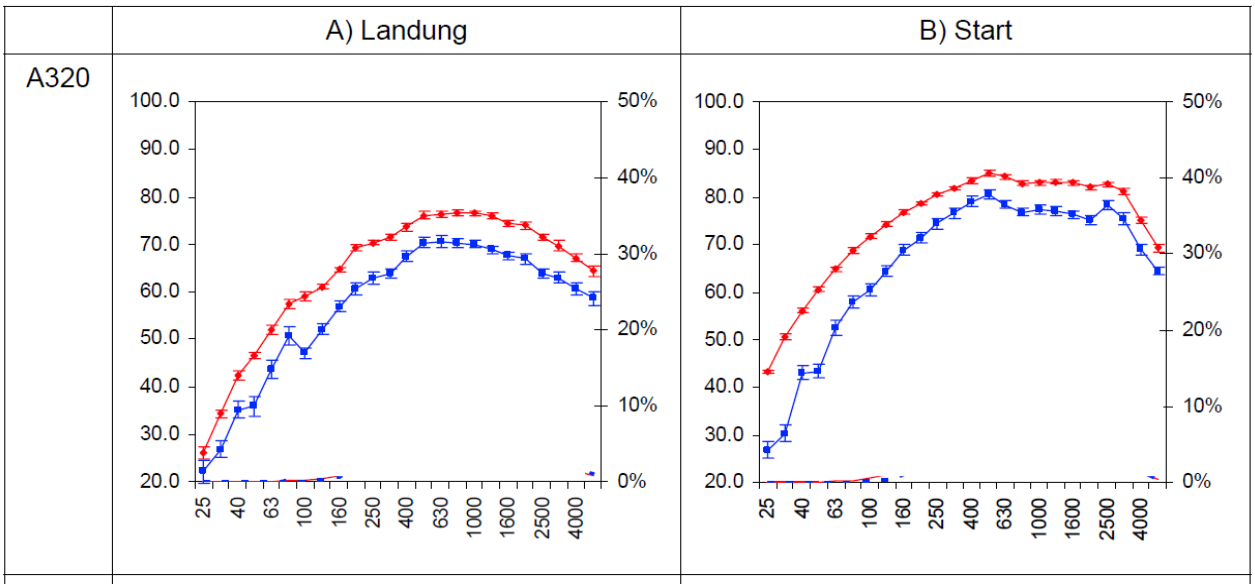



*Diagramme des fréquences pour un Airbus A320 (courbe rouge pour la dose de bruit pour un passage complet $L_{AE,}$ courbe bleue pour le niveau maximum $L_{A,max}$ , à gauche atterrissage, à droite décollage)*

## 3.3 Méthode de calcul

Le calcul de la propagation du bruit a été réalisé avec le logiciel cadnaA (version 2017) selon la méthode définie dans la norme ISO 9613-2 ( *"Acoustique – Atténuation du son lors de sa propagation à l'air libre – Partie 2 : Méthode générale de calcul"* ). Cette méthode est celle reconnue au niveau international pour le calcul de la propagation du bruit à l'extérieur. Elle est utilisée pour différents types de bruit (transport, industrie …) et correspond à l'état actuel de la technique.

Les résultats fournis par ce logiciel tiennent compte les éléments suivants :

- Emissions sonores :
  - sources de bruit linéaires et omnidirectionnelles (peu d'influence de la directivité par rapport au secteur VMA)
  - trajectoire moyenne selon les avions de types Airbus A319 et A320 (sur une distance de 5 km après décollage ou avant atterrissage)
  - 4 sources de bruit principales (pondérées selon leur occurrence) :
    - Accélération et décollage Sud-Ouest
    - Atterrissage Sud-Ouest
    - Accélération et décollage Nord-Est
    - Atterrissage Nord-Est
- Modèle 3D du terrain et des bâtiments (voir figures suivantes avec la situation actuelle 2017, la situation à court terme et la situation future 2050)

- Propagation du bruit (selon norme ISO 9613-2) :
  - Calcul en bande unique (pour une fréquence dominante de 500 Hz)
  - Atténuation due à la distance en fonction de l'éloignement
  - Atténuation due à l'atmosphère : atténuation de 2.36 dB par km pour une fréquence de 500 Hz
  - Effet sol (réflexion du bruit contre le sol) : sol considéré comme absorbant (végétalisé)
  - Effets d'écran (bâtiments, topographie …)
  - Réflexions :
    - Calcul de base selon réflexions d'ordre 1 en considérant les bâtiments (existants et futurs) comme des bâtiments avec des façades réfléchissantes.
    - Le calcul avec des réflexions multiples (ordre 2 et supérieur) n'est pas possible à large échelle étant donné la durée très importante des calculs. Les calculs avec des réflexions multiples ont été effectués uniquement pour des périmètres restreints dans des cas particuliers (voir chapitre 4.3).
    - Les réflexions du bruit au niveau du sol sont prises en compte selon le paramètre « Effet sol ».

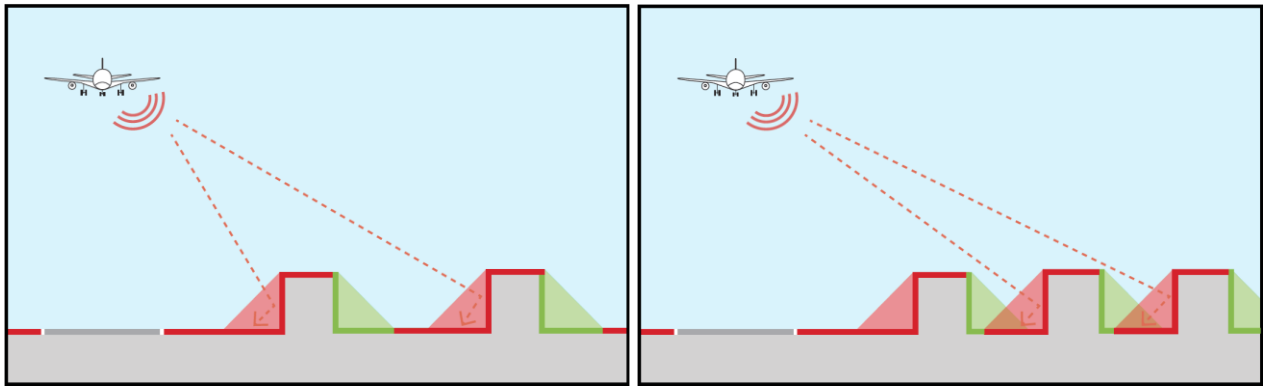


*Schéma des effets d'écran (en vert) et de réflexion (en rouge) avec sol absorbant (végétalisé) pour des bâtiments plus ou moins proches*

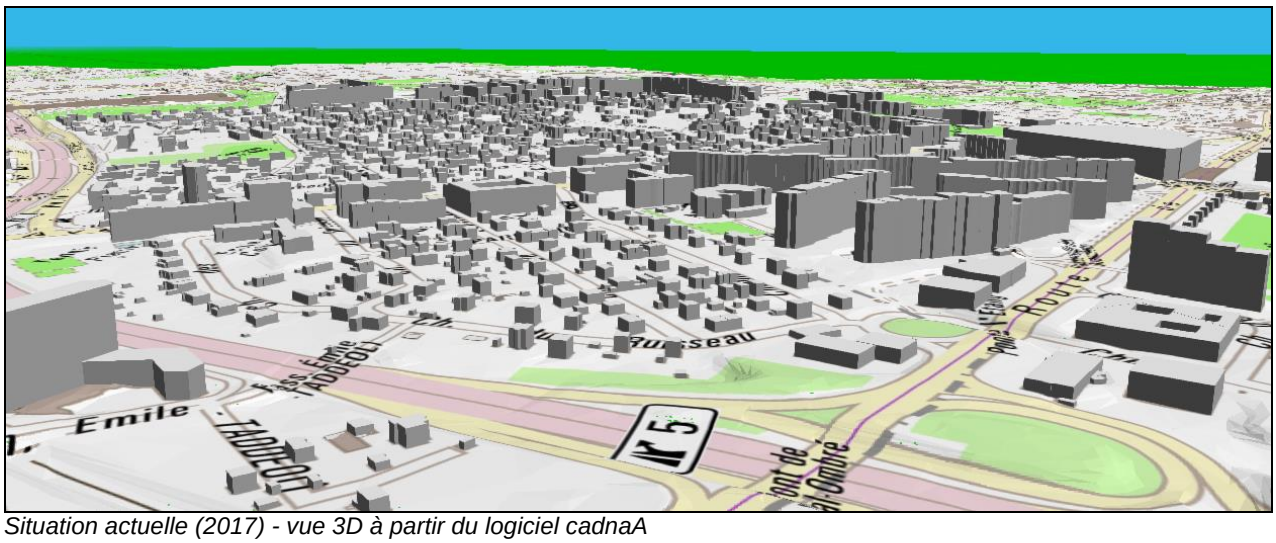
  - Les effets de la végétation (arbre, arbuste, haie …) n'ont qu'une influence très limitée sur la propagation du bruit, même s'ils modifient légèrement la perception par diffusion et filtrage spectral. A titre indicatif, l'annexe A de la norme ISO 9613-2 propose une méthode de calcul pour l'atténuation due à l'effet d'écran de la végétation (arbres et arbustes) de 0.05 dB par mètre pour une fréquence de 500 Hz et pour un secteur densément végétalisé. Cette valeur signifie qu'il faudrait une forêt dense d'une épaisseur d'au moins 20 m pour apporter une atténuation d'env.1 dB(A). La présence de végétation dans un secteur construit peut certes apporter une légère diminution du bruit par absorption, mais celle-ci est généralement nettement inférieure à 1 dB(A) et peut donc être négligée dans les calculs.
  - Les effets de la diffusion ne sont pas pris en compte dans cette méthode, comme d'ailleurs dans la plupart des modèles de calcul du bruit dans l'environnement, car ils sont difficiles à définir (dépendant de la fréquence, de l'angle d'incidence de l'onde sonore, du type de façade des bâtiments) et ils jouent habituellement un rôle négligeable sur le niveau sonore global dans un environnement extérieur.

- Niveaux de bruit aux points récepteurs :
  - Paramètre calculé : niveau sonore moyen (Leq en dB(A)) en tenant compte de l'ensemble des 4 trajectoires principales des avions
  - Calculs de base selon une grille de calcul de 5 mètres par 5 mètres à une hauteur de 1.5 mètre au-dessus du sol pour chacun des horizons (2017, 2030, 2050) et pour chaque situation :
    - A : sans bâtiment,
    - B : avec bâtiments (effets d'écran uniquement),
    - C : avec bâtiments (effets d'écran + effets de réflexion)
  - Le calcul des effets d'écran et de réflexion est fait par soustraction des différentes situations :
    - Effets d'écran des bâtiments : A-B
    - Effets de réflexion des bâtiments : B-C

- Précision des résultats :
  - Pour les études usuelles par rapport au bruit des avions, il faut tenir compte de l'ensemble des incertitudes, soit celles sur les émissions sonores des avions (par exemple incertitude de ± 1 dB(A) pour la base de données des émissions sonores, incertitudes pour les trajectoires …) et celles sur le calcul de la propagation du bruit (par exemple ± 3 dB(A) pour la méthode de calcul sur des longues distances selon la norme ISO 9613-2).

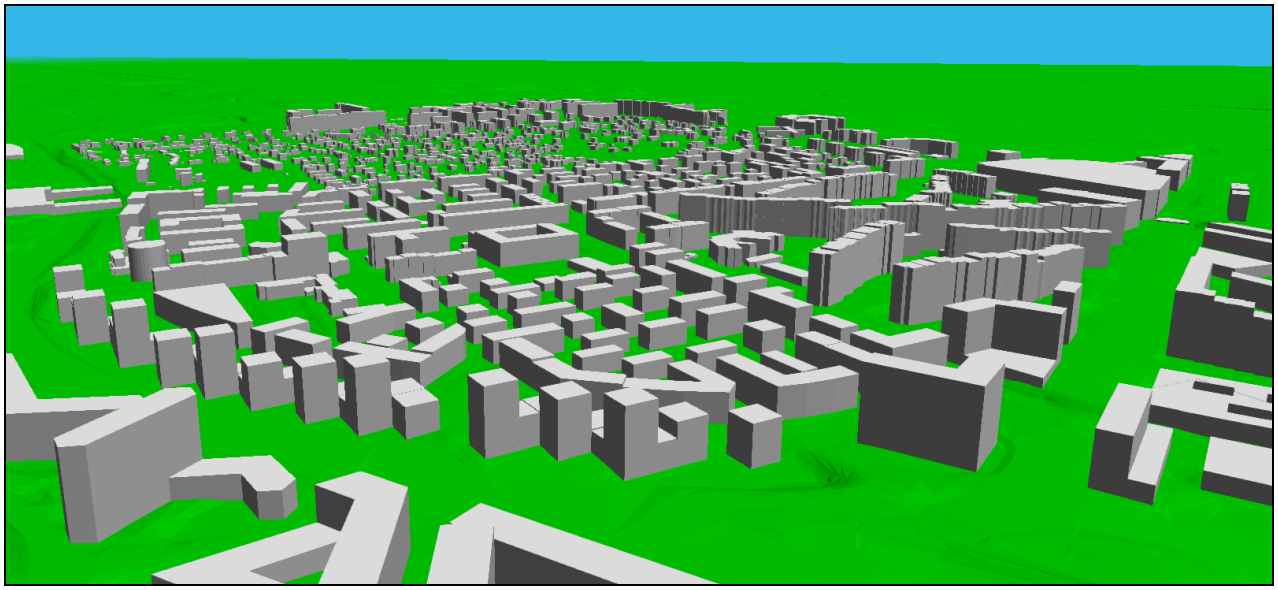
    De manière globale, les incertitudes pour déterminer le bruit des avions (niveau sonore moyen au point récepteur) peuvent donc être estimées entre ± 4 à ± 5 dB(A). A titre de comparaison, le modèle FLULA2 de l'EMPA utilisé pour les cadastres de bruit des aéroports (cadastre officiel OFAC, sans prise en compte des effets des bâtiments) prévoit une précision de l'ordre de ± 2 dB(A).
  - Dans le cas de cette étude, le calcul des effets des bâtiments (effets de réflexion et effets d'écran, basés sur une différence de niveau sonore) permet de réduire une grande partie des incertitudes usuelles pour ce type de modélisation. Les incertitudes relatives aux calculs des réflexions et des effets d'écran peuvent être estimées entre ± 1 dB(A) et ± 2 dB(A) selon la précision des données de base (forme des bâtiments, matériaux des façades, effet de diffusion …).

    Les autres incertitudes (émissions sonores des avions, propagation du bruit à longue distance, effets météorologiques …) peuvent être négligées lorsque l'on ne s'intéresse qu'à l'effet des bâtiments.

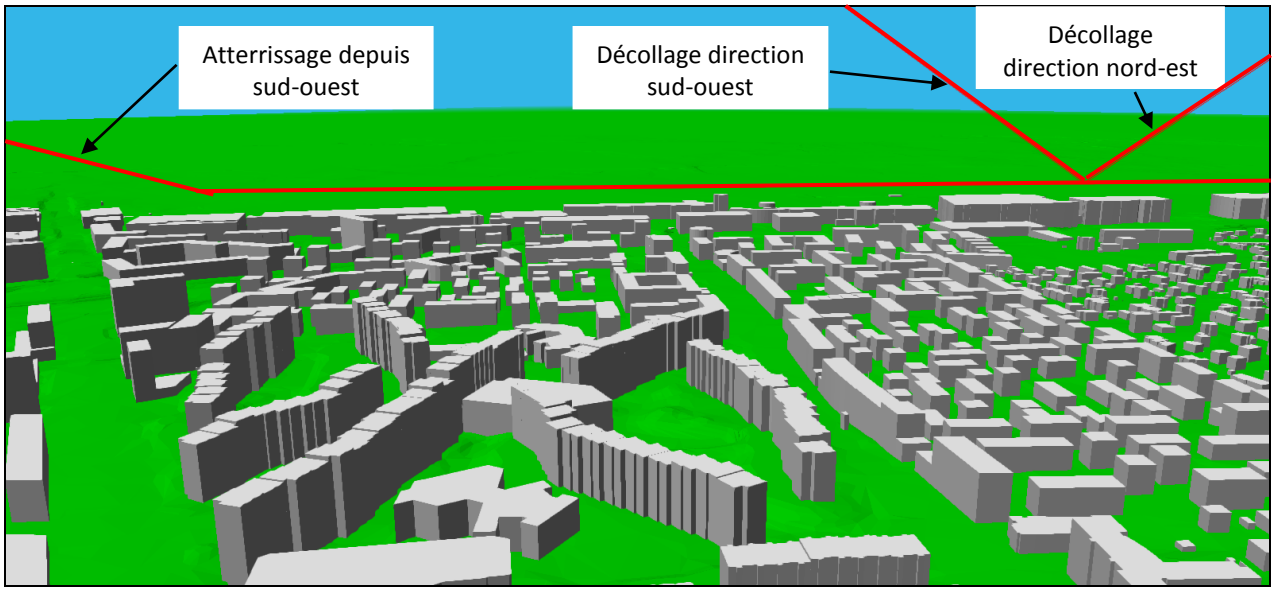



*Situation actuelle (2017) - vue 3D à partir du logiciel cadnaA*
*(vue depuis la partie Sud de l'aéroport en direction de l'Est)*

*Situation à court terme (avec projets approuvés) - vue 3D à partir du logiciel cadnaA*
*(vue depuis la partie Sud de l'aéroport en direction de l'Est)*



*Situation future 2050 - vue 3D à partir du logiciel cadnaA*
*(vue depuis la partie Sud de l'aéroport en direction de l'Est)*




*Situation future 2050 - vue 3D à partir du logiciel cadnaA*
*(vue depuis Les Avanchets en direction de l'aéroport avec les trajectoires moyennes de décollage et d'atterrissage)*

Dans le cadre de cette analyse, différentes hypothèses de calculs ont été retenues en particulier afin de limiter la durée des calculs. Afin de déterminer si ces hypothèses n'ont pas une influence significative sur les résultats, une analyse de sensibilité a été réalisée, en particulier concernant les éléments suivants (voir chapitre 4.3) :

- La pente de décollage des avions et leur emplacement de décollage
- L'ordre de réflexion pour le calcul de la propagation du bruit
- L'absorption du sol

# 4. RÉSULTATS GLOBAUX

## 4.1 Enquête de terrain

Les résultats de cette démarche préliminaire (rapport EcoAcoustique SA du 30.11.2017) ont confirmé ceux de l'analyse bibliographique (rapport EcoAcoustique SA du 17.01.2017), à savoir :

- Il existe en effet des phénomènes de réflexion perceptibles contre les bâtiments, et ceux-ci peuvent générer des augmentations de bruit localisées (dans le temps et dans l'espace).
- Sur l'ensemble du territoire, ces phénomènes sont compensés par les effets d'écran (diminution du bruit) produits par ces mêmes bâtiments (en d'autres temps et d'autres lieux).
- Une bonne disposition des bâtiments permet de maximiser les effets d'écran et de minimiser les réflexions gênantes.

Des mesurages du bruit des avions (décollages) ont été effectués en janvier et mai 2017. Le but de ces mesurages était de mettre en évidence des configurations particulières où les réflexions du bruit seraient particulièrement importantes.

Ces mesurages ont été effectués au moyen de 2 sonomètres, le premier disposé en un point relativement dégagé, directement exposé à la trajectoire des avions (point de référence), et le second dans un lieu proche davantage construit, soumis à des réflexions plus importantes. L'enregistrement simultané des 2 appareils permet de mettre en évidence les éventuelles différences lors du passage du même avion (effet de réflexion).

Les résultats de ces mesurages complémentaires montrent que :

- Les secteurs situés dans des zones avec réflexions (proches d'une ou de plusieurs façades réfléchissantes) sont exposés lors du décollage d'un avion à des niveaux sonores moyens (Leq en dB(A)) de 2 à 3 dB(A) plus élevés que dans un secteur mesuré simultanément à même distance de l'avion et éloigné de toute grande surface réfléchissante.
- Il ne semble pas y avoir de différence significative selon que l'on se trouve sur un sol plutôt absorbant (herbe) ou sur un sol plutôt dur (chemin goudronné, parking).
- Le niveau sonore instantané maximum (moment où le bruit de l'avion est le plus fort) est généralement plus élevé dans les secteurs avec réflexions (différence entre 0 et +5 dB(A)) selon les emplacements et selon les avions.
- Du fait de la grande variété des décollages (type d'avion, trajectoire plus ou moins verticale, emplacement de décollage) et de l'influence des conditions météorologiques sur la propagation du bruit sur des longues distances, il paraît difficile d'analyser plus en détail ces données sur la base d'un échantillon relativement faible, en particulier en ce qui concerne les niveaux sonores instantanés qui varient fortement tout au long du passage de chaque avion.

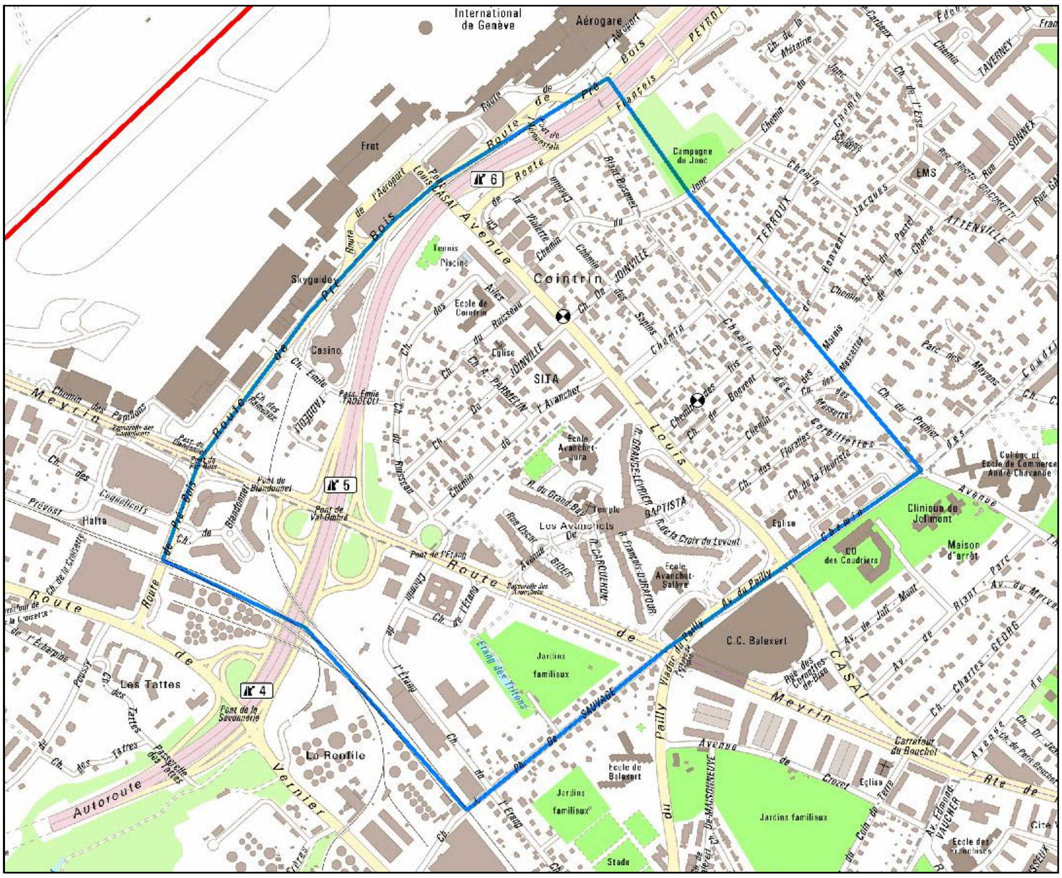
Cette enquête de terrain a permis aussi de valider un certain nombre d'hypothèses pour les calculs de bruit, en particulier :

- Pour le secteur VMA, l'essentiel du bruit provient des décollages en direction du Sud-Ouest
- Il existe de fortes variations des trajectoires des décollages des avions (angle de décollage et emplacement du décollage sur la piste)

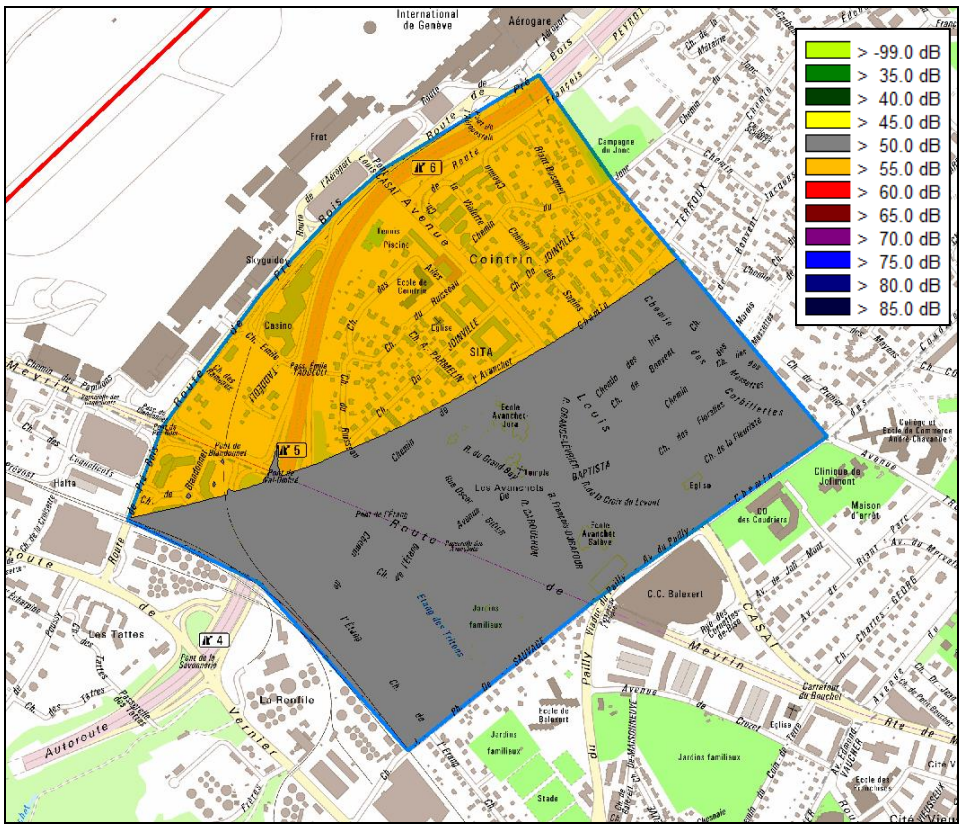
## 4.2 Cartes générales sur l'ensemble du périmètre

### 4.2.1 Situation générale et cadastre OFAC

La carte ci-dessous présente la situation générale ainsi que le périmètre retenu pour les calculs.




*Plan de situation générale et périmètre de calcul*

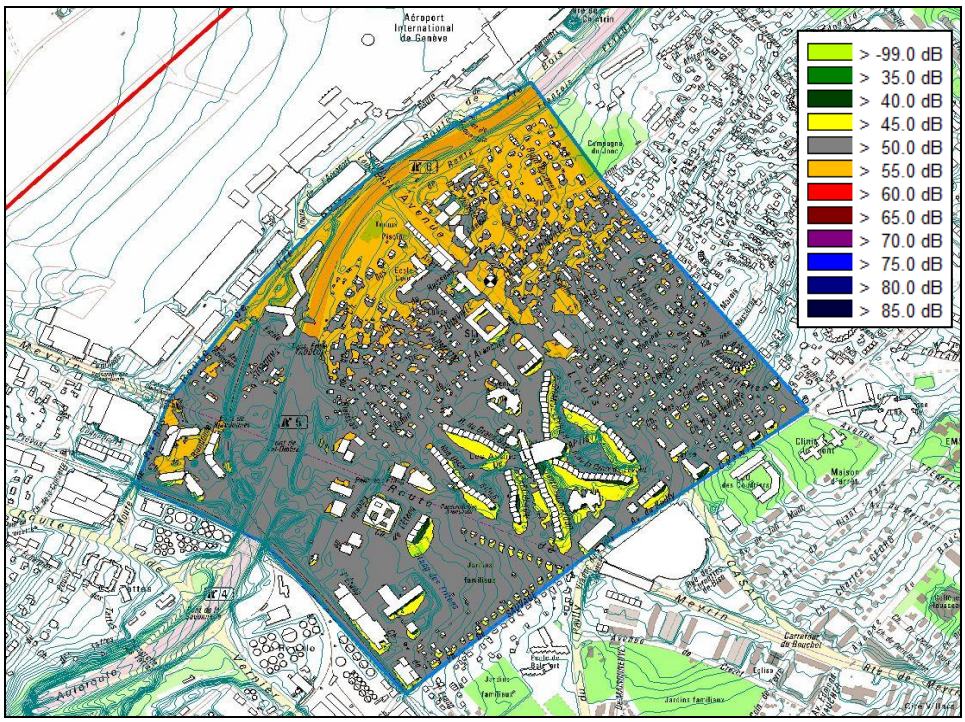



*Niveaux sonores moyens (Leq en dB(A)) pour la situation actuelle (sans prise en compte des bâtiments) – similaire cadastre officiel OFAC*

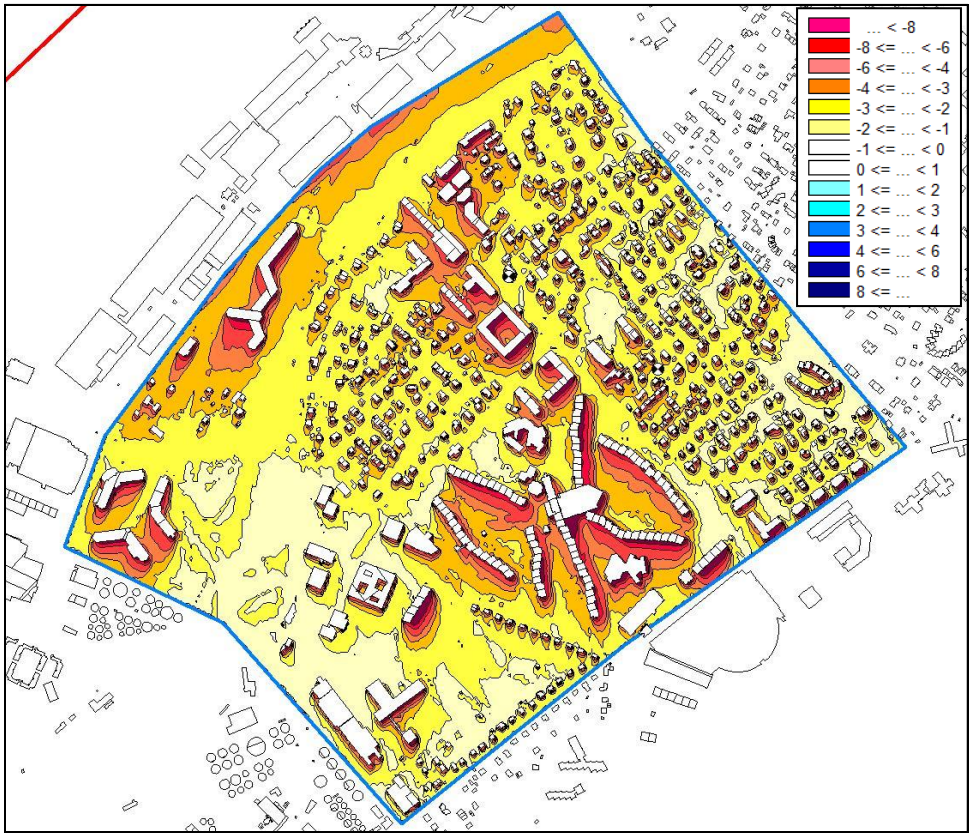
Pour le calcul similaire au cadastre OFAC (voir carte ci-dessus, sans prise en compte des bâtiments), la répartition des niveaux sonores est assez homogène, car il n'y a pas de prise en compte des constructions (propagation du bruit uniquement en fonction de la distance, de l'atténuation atmosphérique, de la topographie et de l'effet sol).

### 4.2.2 Situation actuelle (état 2017)

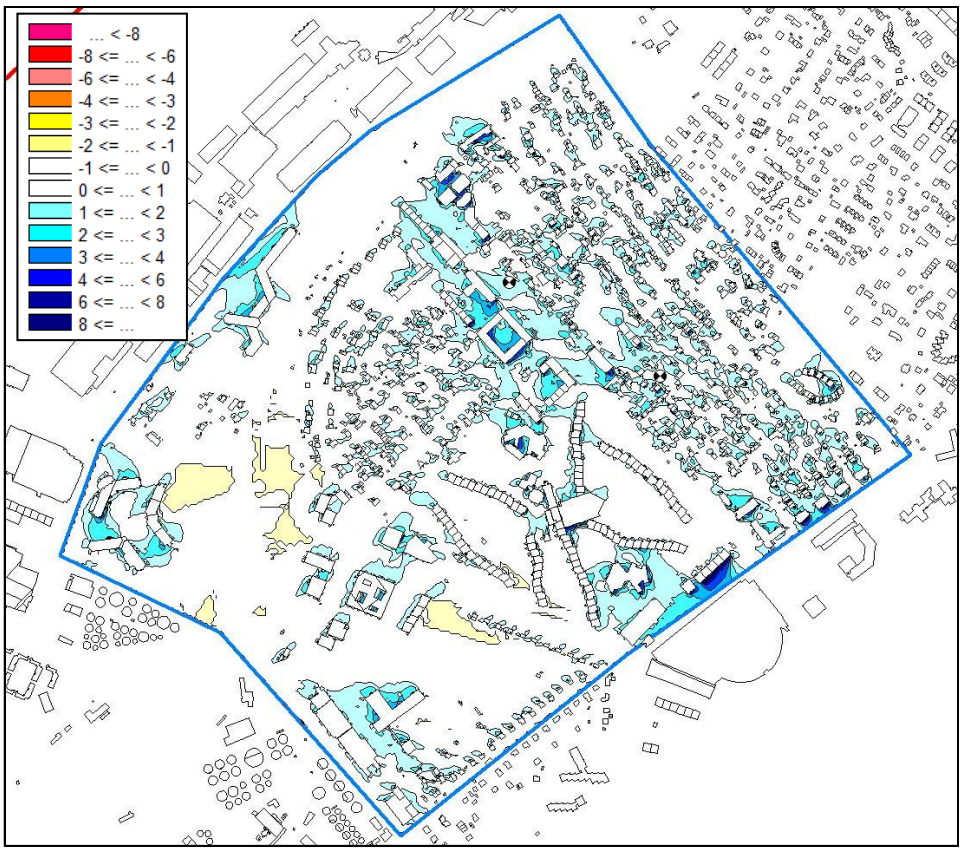
Pour la situation actuelle (état 2017), les cartes suivantes présentent les différents résultats de la modélisation.



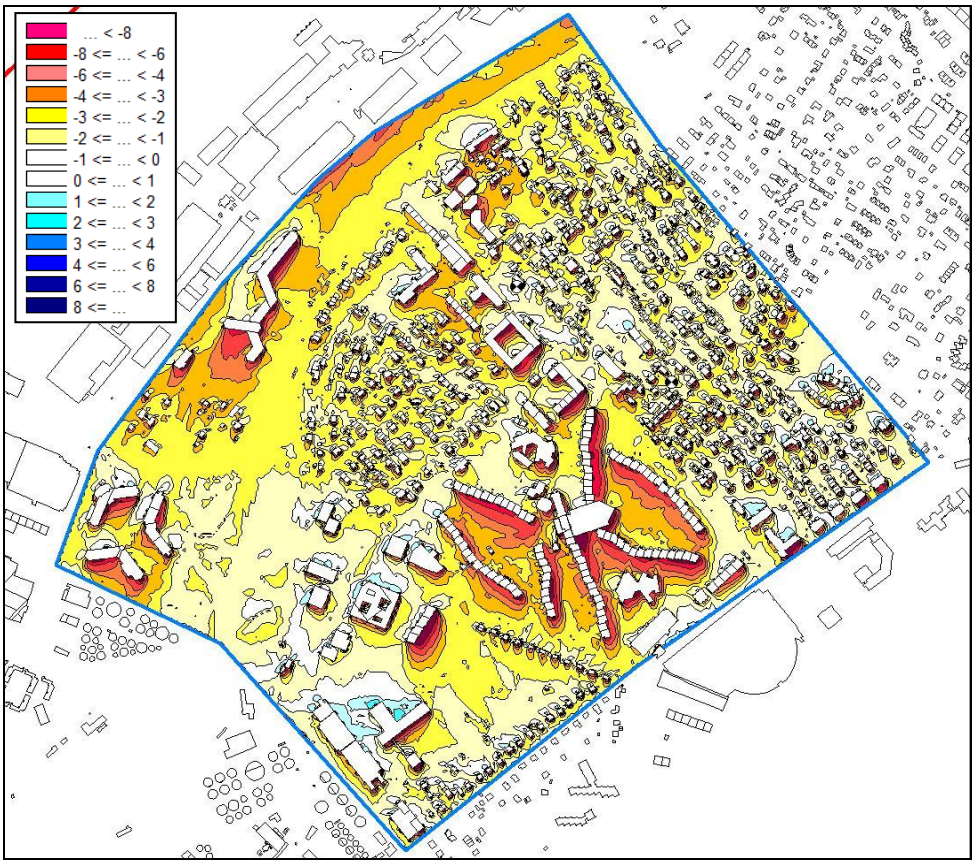

*Niveaux sonores moyens (Leq en dB(A)) pour situation actuelle (avec prise en compte des bâtiments)*



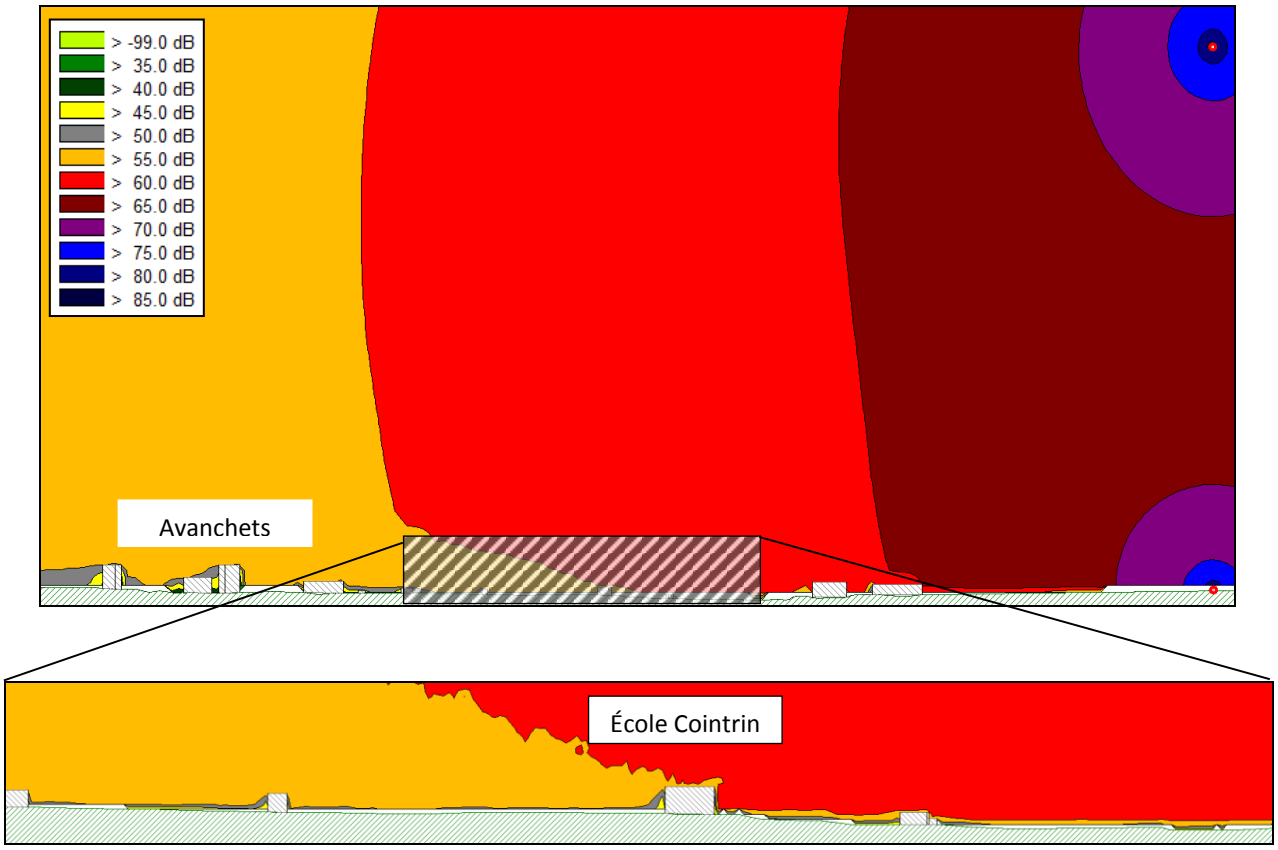

*Effets d'écran des constructions pour la situation actuelle*




*Effets de réflexion des constructions pour la situation actuelle*




*Effets globaux (écrans + réflexion) des constructions pour la situation actuelle*




*Coupe au droit de l'école de Cointrin, parallèle à l'avenue Louis-Casaï : Niveaux sonores et situation des sources de bruit (situation actuelle)*

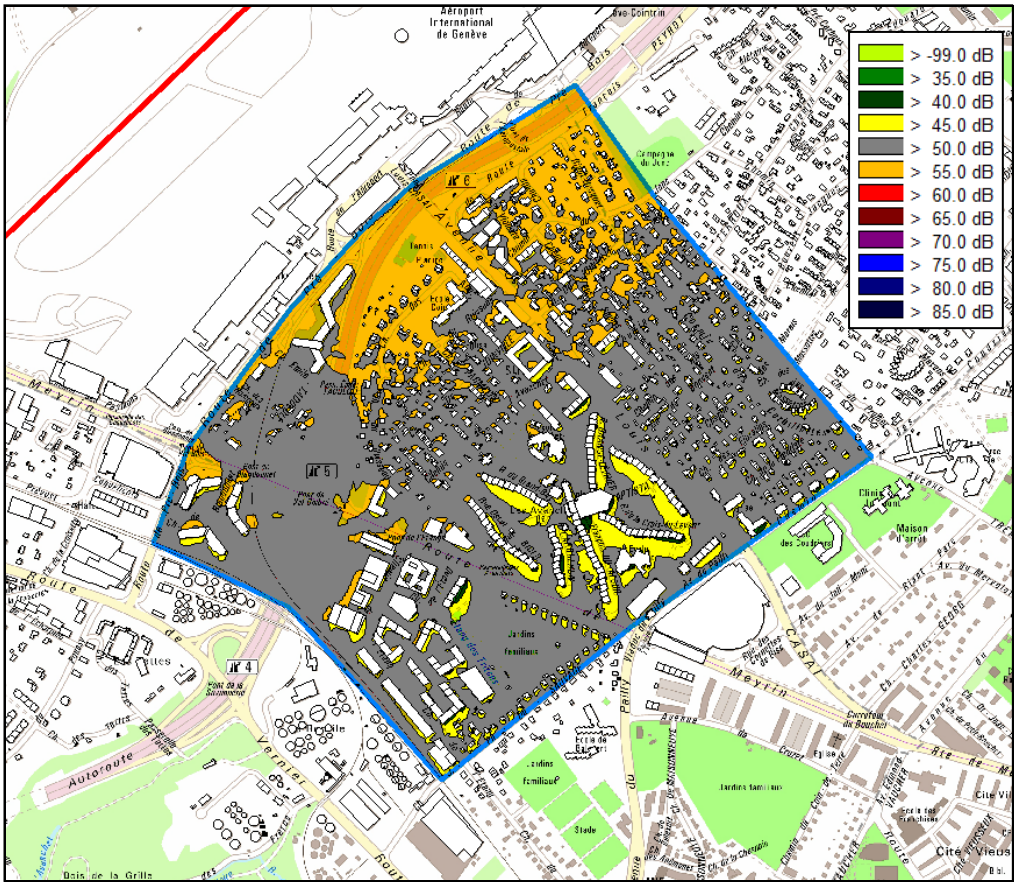
Pour la situation actuelle, les différents calculs montrent que :

- Niveaux sonores moyens : la carte est assez morcelée car chaque bâtiment interfère dans la propagation du bruit (effets d'écran et effets de réflexion) ; de manière générale, l'effet des bâtiments sur les niveaux sonores au sol est lié à leur taille (plus les bâtiments sont importants, plus leurs effets sont significatifs) ; par rapport à la carte de bruit sans bâtiment, les niveaux sonores avec bâtiments sont en moyenne de 1 à 2 dB(A) plus faibles sur la grande majorité du secteur. Localement, des différences plus importantes (en augmentation ou en diminution des niveaux sonores) peuvent se produire à proximité de grands bâtiments (cité des Avanchets, bâtiments de l'aéroport, hôtel Mövenpick, bâtiments le long de l'avenue Louis-Casaï …).
- En analysant de plus près l'origine principale des niveaux sonores dans ce secteur, le décollage en direction du sud-ouest constitue env. 70 % du bruit total provenant des vols de l'aéroport (15 % du bruit provient du décollage au nord-est, les 15 % restant étant liés aux atterrissages).
- Effets d'écran des bâtiments actuels : les effets d'écrans sont particulièrement marqués pour les grands bâtiments (cité des Avanchets, bâtiments de l'aéroport, hôtel Mövenpick, bâtiments le long de l'avenue Louis-Casaï …). Les effets situés directement à l'arrière d'un bâtiment (par rapport à l'aéroport) ont toutefois une portée relativement faible du fait du décollage assez vertical des avions (pente moyenne de 33°). Par contre, il y a un effet d'écran plus général sur tout le secteur en relation avec les bâtiments de l'aéroport de Genève (aérogare, départ/arrivée passagers, hangars, parkings …) situés en bordure sud-est de la piste.

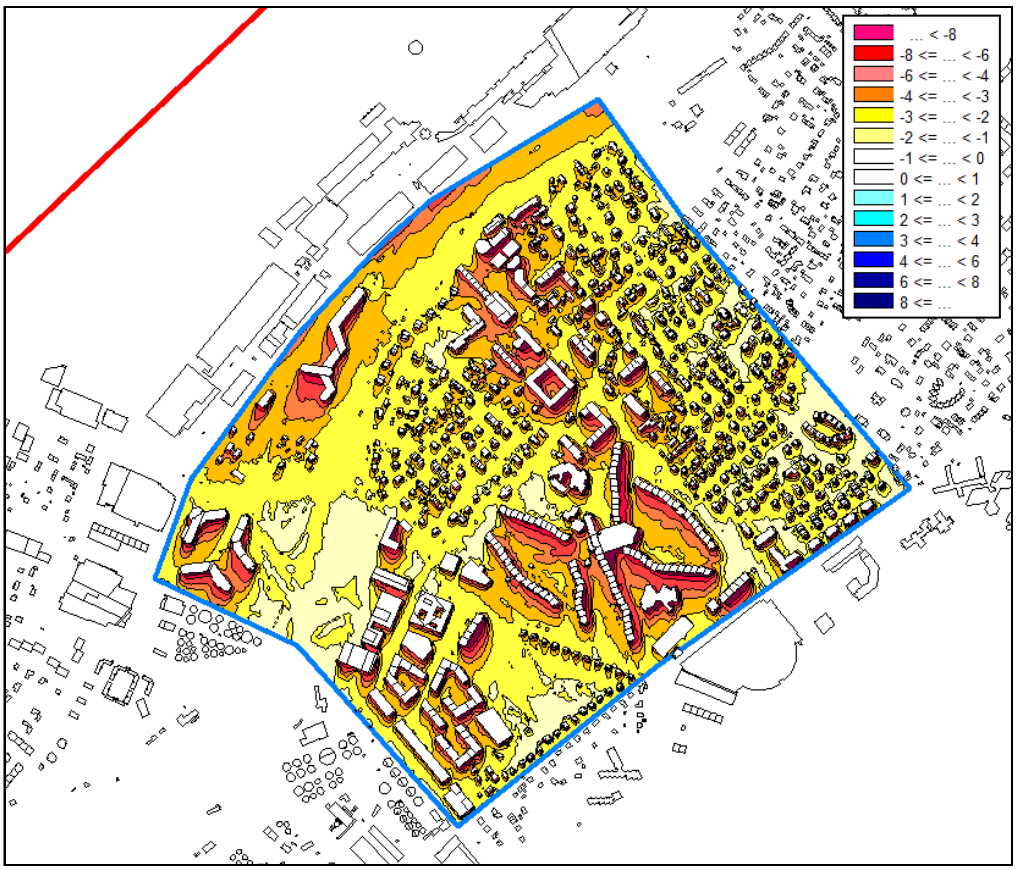
- Effets de réflexion des bâtiments actuels : les effets de réflexion sont particulièrement marqués devant les grands bâtiments parallèles à la piste de l'aéroport (hôtel Mövenpick, bâtiments le long de l'avenue Louis-Casaï …). Ces effets sont plus importants s'ils se produisent dans une « zone d'ombre », c'est-à-dire dans une zone protégée du bruit des avions (effets d'écran d'un autre bâtiment).
- Effets globaux (écran + réflexion) des bâtiments actuels : les effets globaux (écran + réflexion) montrent que dans la grande majorité du secteur les effets d'écran sont plus importants que les effets de réflexion, tant en terme de surface concernée qu'en terme de modification des niveaux sonores. Excepté des situations particulières où une augmentation des niveaux sonores peut être liée à des réflexions (grand bâtiment avec vue « ouverte » en direction de l'aéroport), les niveaux sonores à hauteur du sol sont globalement réduits avec les constructions.

### 4.2.3 Situation à court terme (2017 avec projets approuvés)

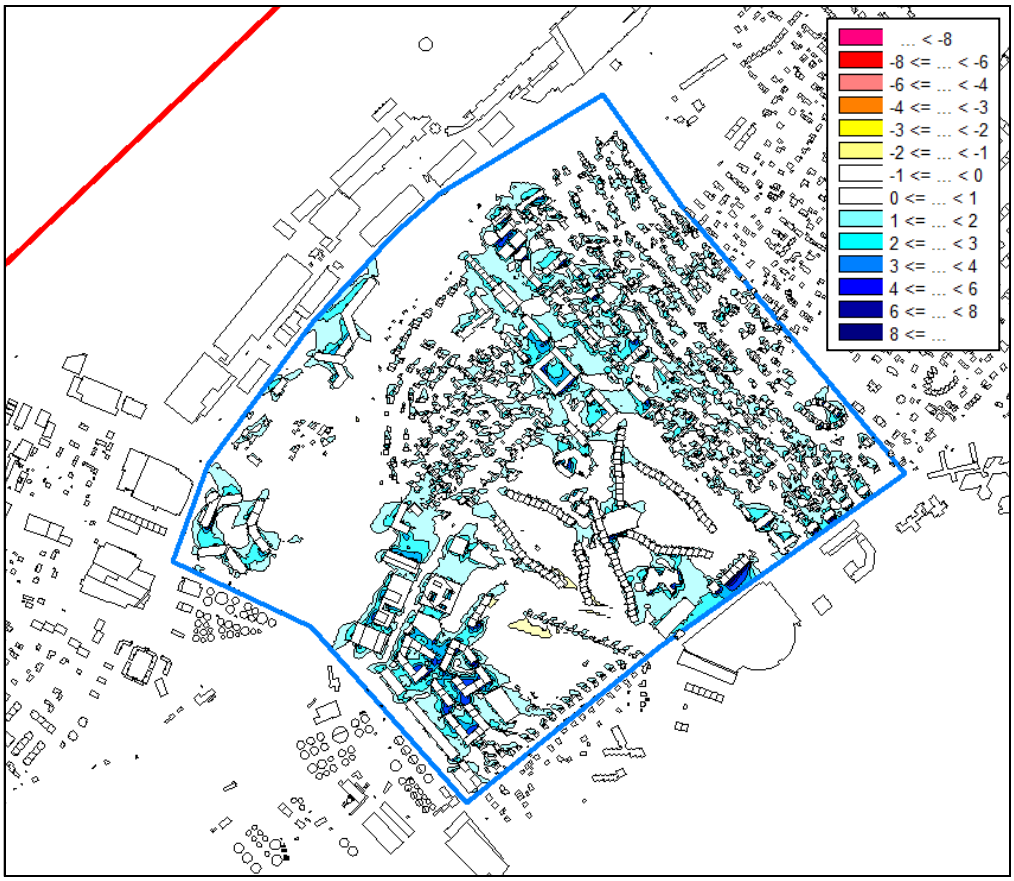
Les commentaires généraux sur cet horizon ne diffèrent pas de ce qui a déjà été mentionnés dans le chapitre précédant pour l'horizon 2017. Les différences sont très localisées et se situent uniquement à proximité des certains nouveaux bâtiments.



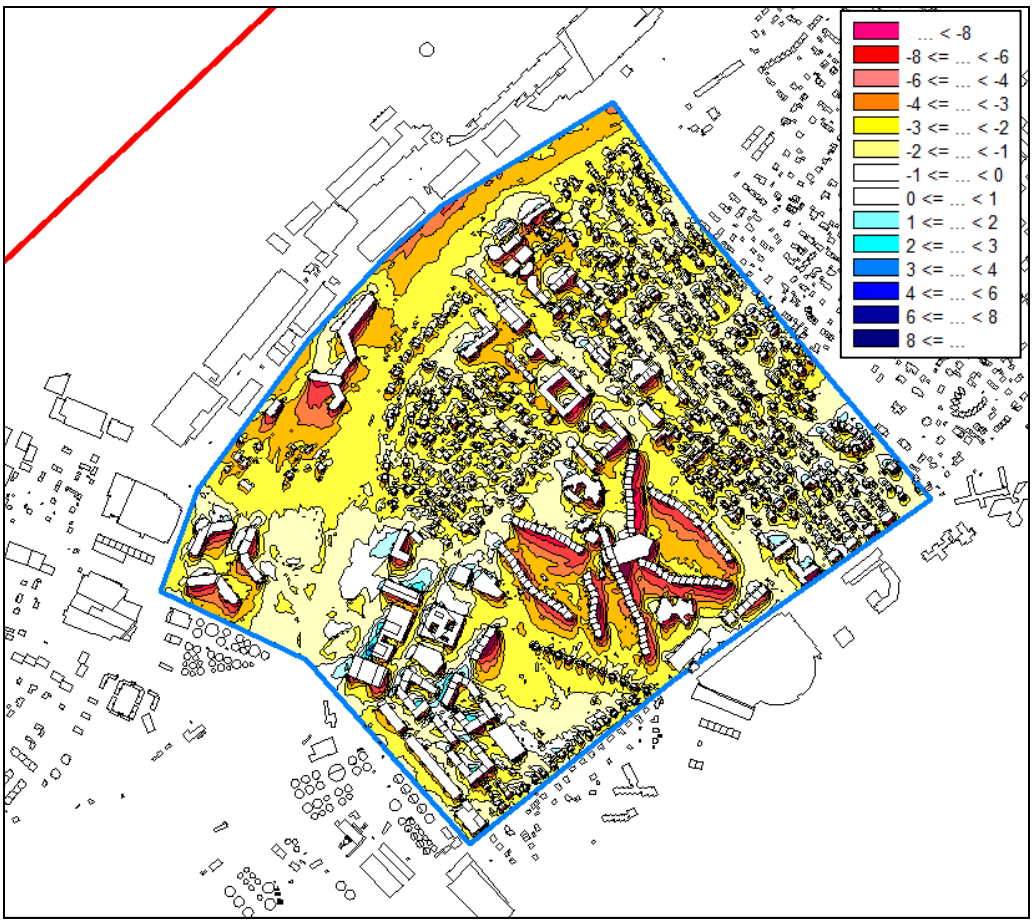

*Niveaux sonores moyens (Leq en dB(A)) pour situation actuelle avec projets approuvés (avec prise en compte des bâtiments)*




*Effets d'écran des constructions pour la situation actuelle avec projets approuvés*




*Effets de réflexion des constructions pour la situation actuelle avec projets approuvés*

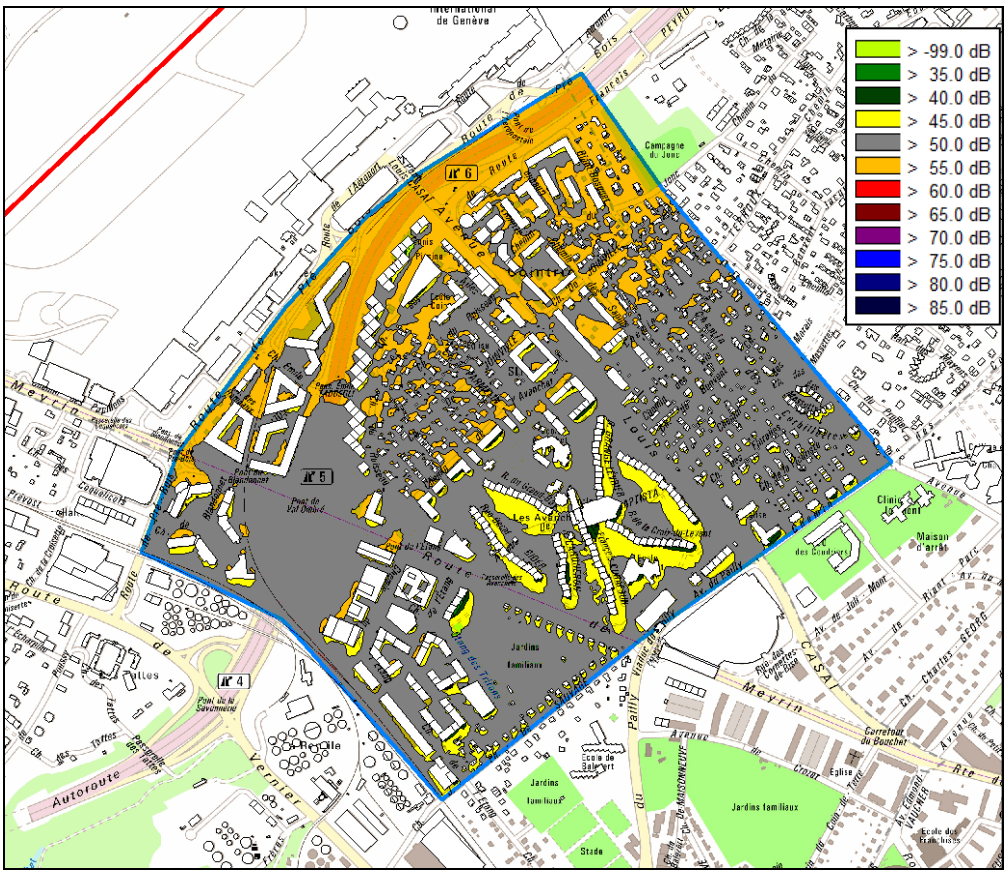



*Effets globaux (écran + réflexion) des constructions pour la situation actuelle avec projets approuvés*

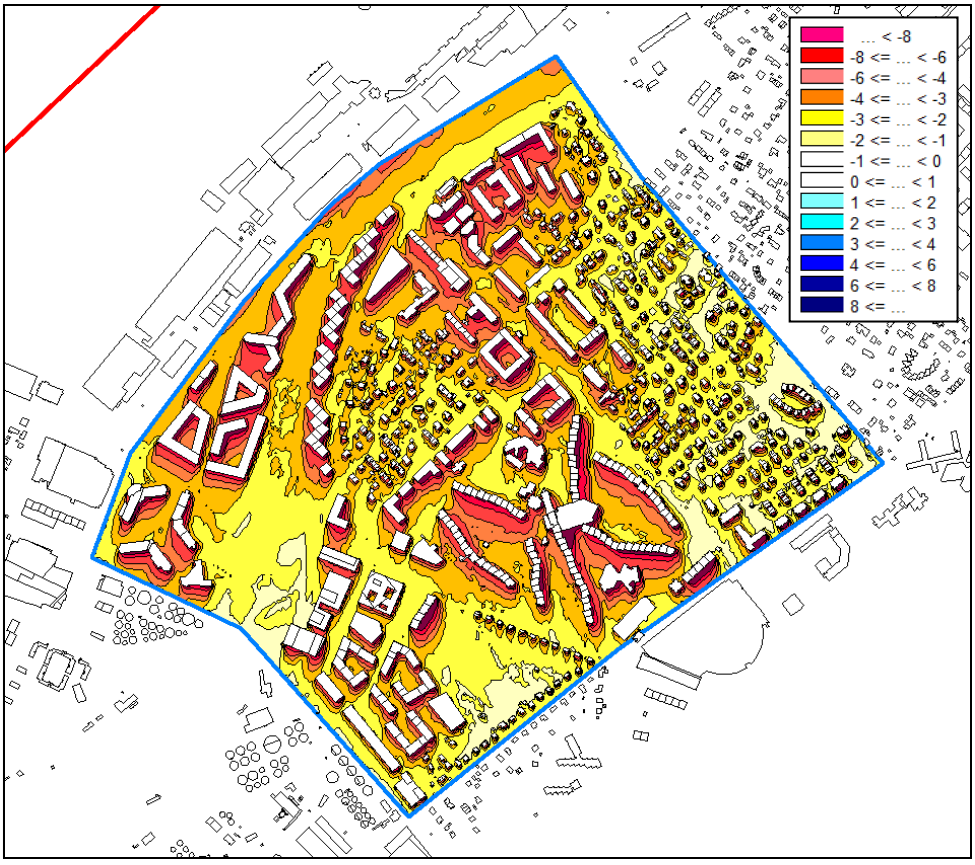
### 4.2.4 Situation future (2030)

Pour la situation future (2030), les différents calculs (voir cartes en pages suivantes) montrent que :

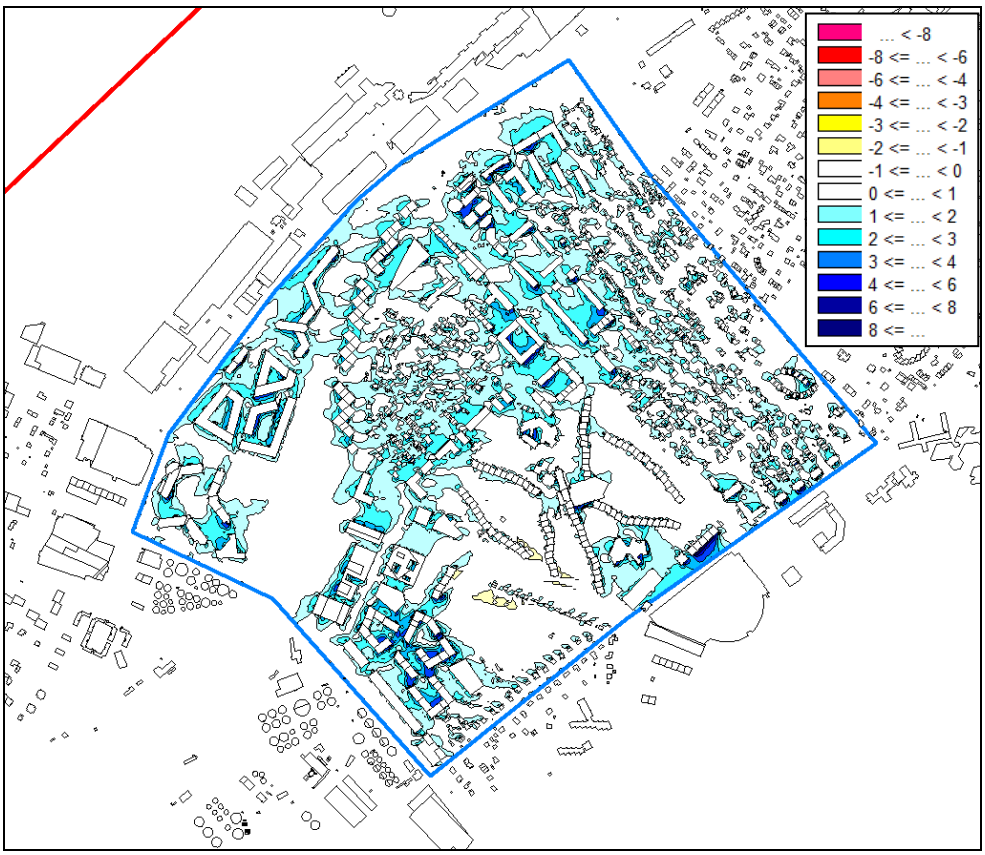
- Niveaux sonores moyens : la carte est assez morcelée car chaque bâtiment interfère assez fortement dans la propagation du bruit (effets d'écran et effets de réflexion) ; de manière générale, l'effet des bâtiments sur les niveaux sonores au sol est lié à leur taille (plus les bâtiments sont importants, plus leurs effets sont significatifs).
- Effets d'écran des bâtiments futurs : les effets d'écrans sont particulièrement marqués pour les nouveaux grands bâtiments.
- Effets de réflexion des bâtiments futurs : les effets de réflexion sont particulièrement marqués devant les grands bâtiments en particulier si ceux-ci sont parallèles à la piste de l'aéroport. Ces effets sont plus importants s'ils se produisent dans une « zone d'ombre », c'est-à-dire dans une zone protégée du bruit des avions (effets d'écran d'un autre bâtiment).
- Effets globaux (écran + réflexion) des bâtiments futurs : les effets globaux (écran + réflexion) montrent que dans la grande majorité du secteur les effets d'écran sont plus importants que les effets de réflexions, tant en terme de surface concernée qu'en terme de niveaux sonores. Excepté des situations particulières où une augmentation des niveaux sonores peut être liée à des réflexions (grand bâtiment avec vue « ouverte » en direction de l'aéroport), les niveaux sonores à hauteur du sol et sont globalement réduits avec les nouvelles constructions.



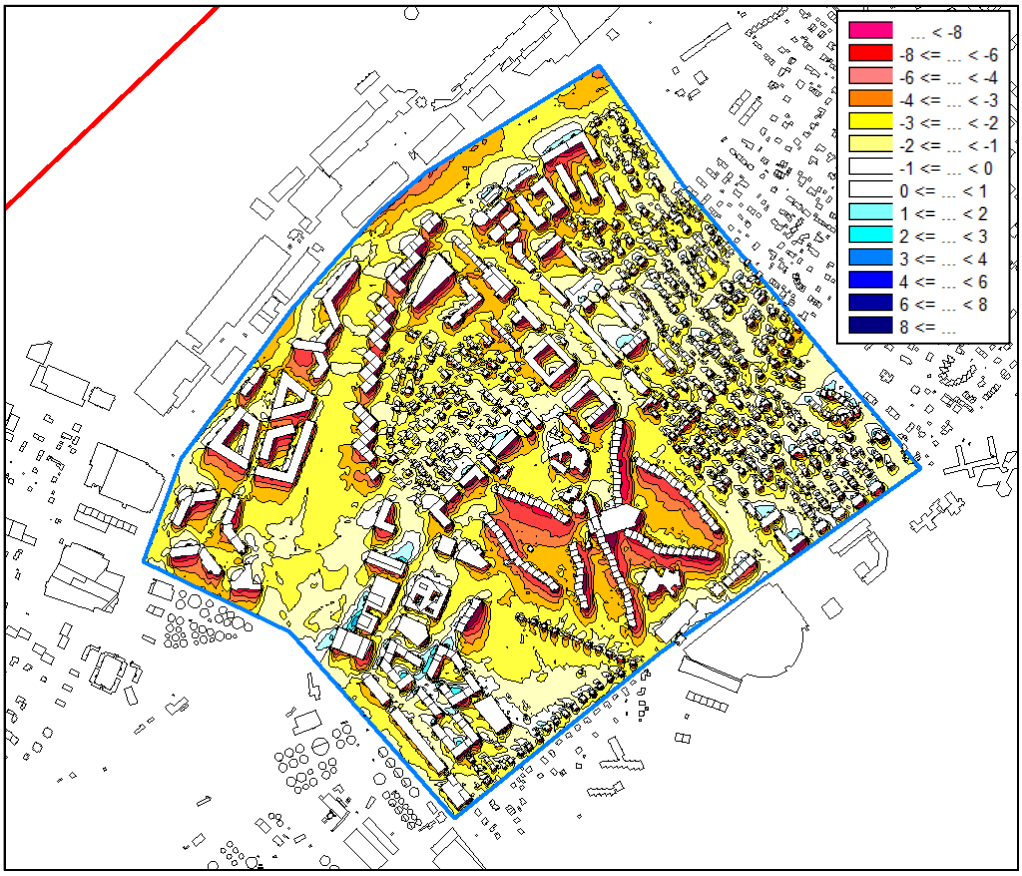

*Niveaux sonores moyens (Leq en dB(A)) pour la situation future 2030*




*Effets d'écran des constructions pour la situation future 2030*




*Effets de réflexion des constructions pour la situation future (2030)*

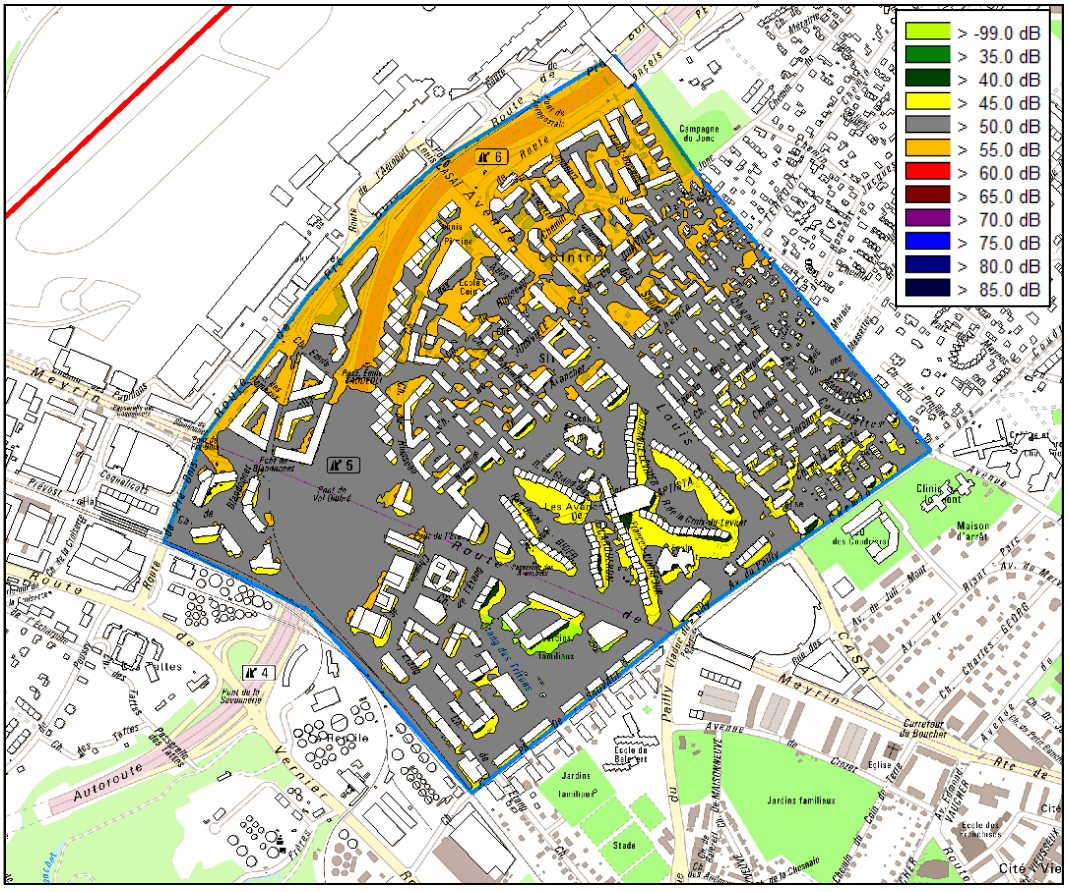



*Effets globaux (écrans + réflexion) des constructions pour la situation future 2030*

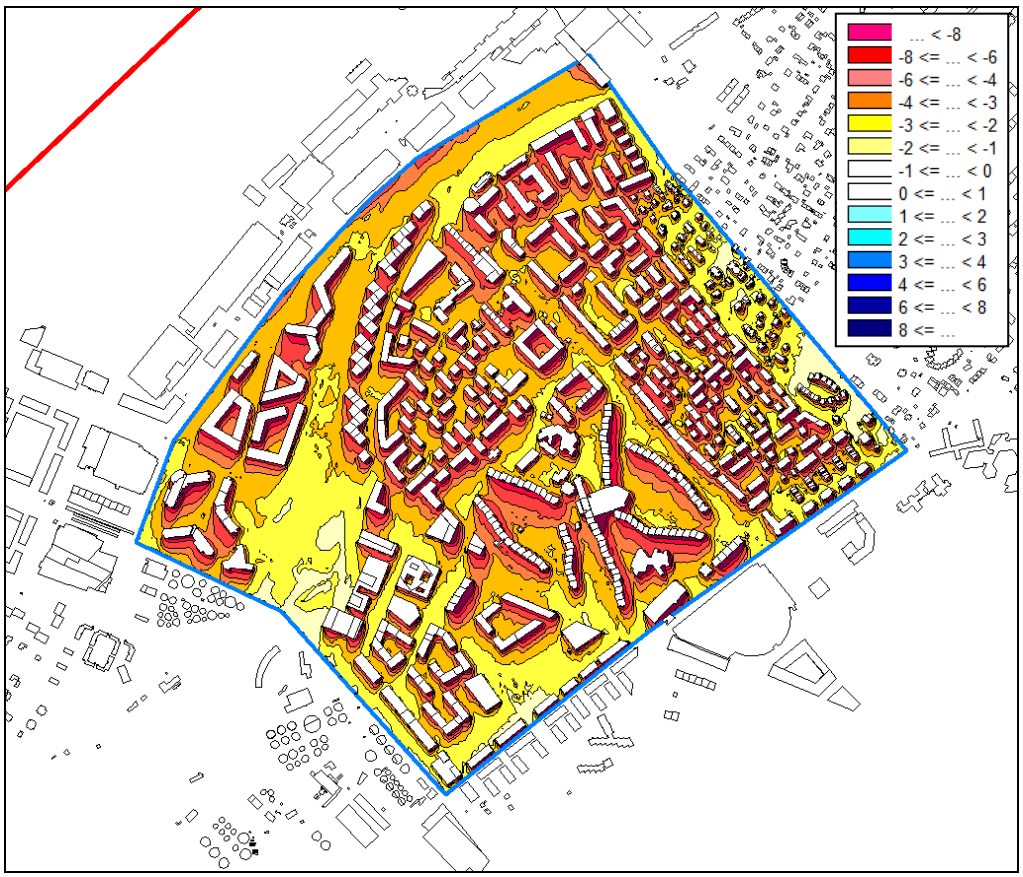
### 4.2.5 Situation future (2050)

Les commentaires généraux sur cet horizon ne diffèrent pas de ce qui a déjà été mentionnés dans le chapitre précédant pour l'horizon 2030, à savoir que :

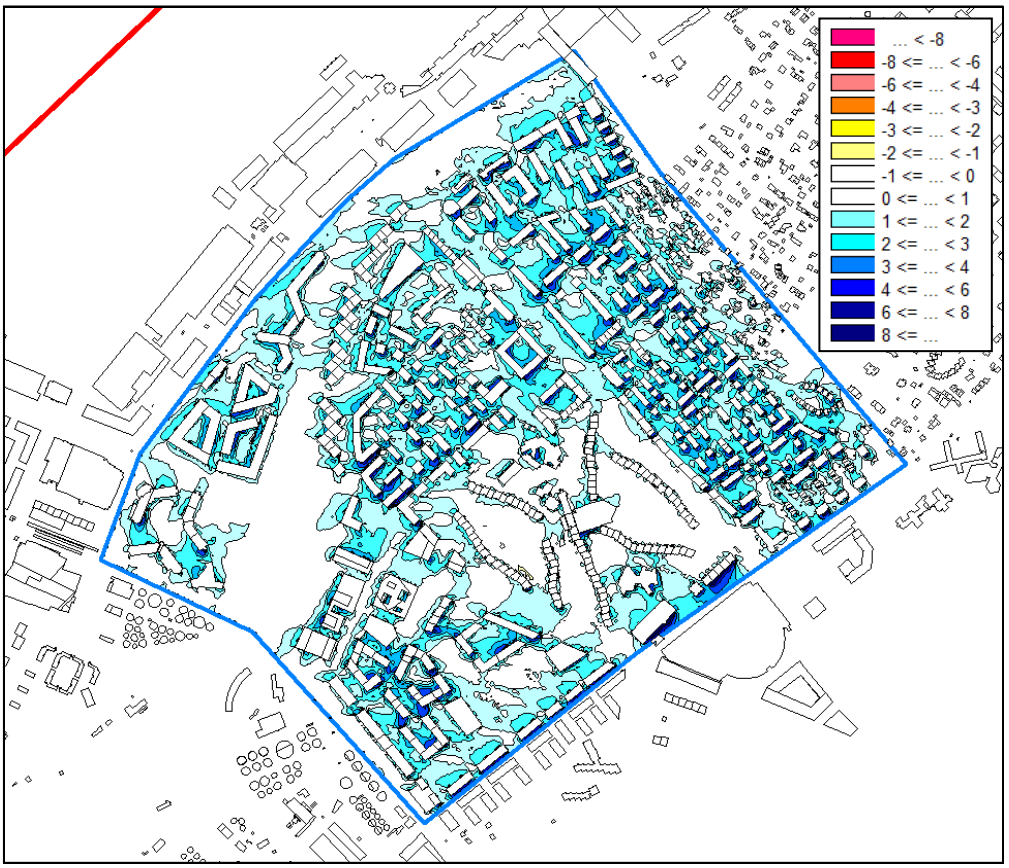
- De manière générale, l'effet des bâtiments sur les niveaux sonores au sol est lié à leur taille (plus les bâtiments sont importants, plus leurs effets sont significatifs).
- Les effets d'écrans sont particulièrement marqués pour les nouveaux grands bâtiments.
- Les effets de réflexion sont particulièrement marqués devant les grands bâtiments en particulier si ceux-ci sont parallèles à la piste de l'aéroport. Ces effets sont plus importants s'ils se produisent dans une « zone d'ombre », c'est-à-dire dans une zone protégée du bruit des avions (effets d'écran d'un autre bâtiment).
- Les effets globaux (écran + réflexion) montrent que dans la grande majorité du secteur les effets d'écran sont plus importants que les effets de réflexions, tant en terme de surface concernée qu'en terme de niveaux sonores. Excepté des situations particulières où une augmentation des niveaux sonores peut être liée à des réflexions (grand bâtiment avec vue « ouverte » en direction de l'aéroport), les niveaux sonores à hauteur du sol et sont globalement réduits avec les nouvelles constructions.



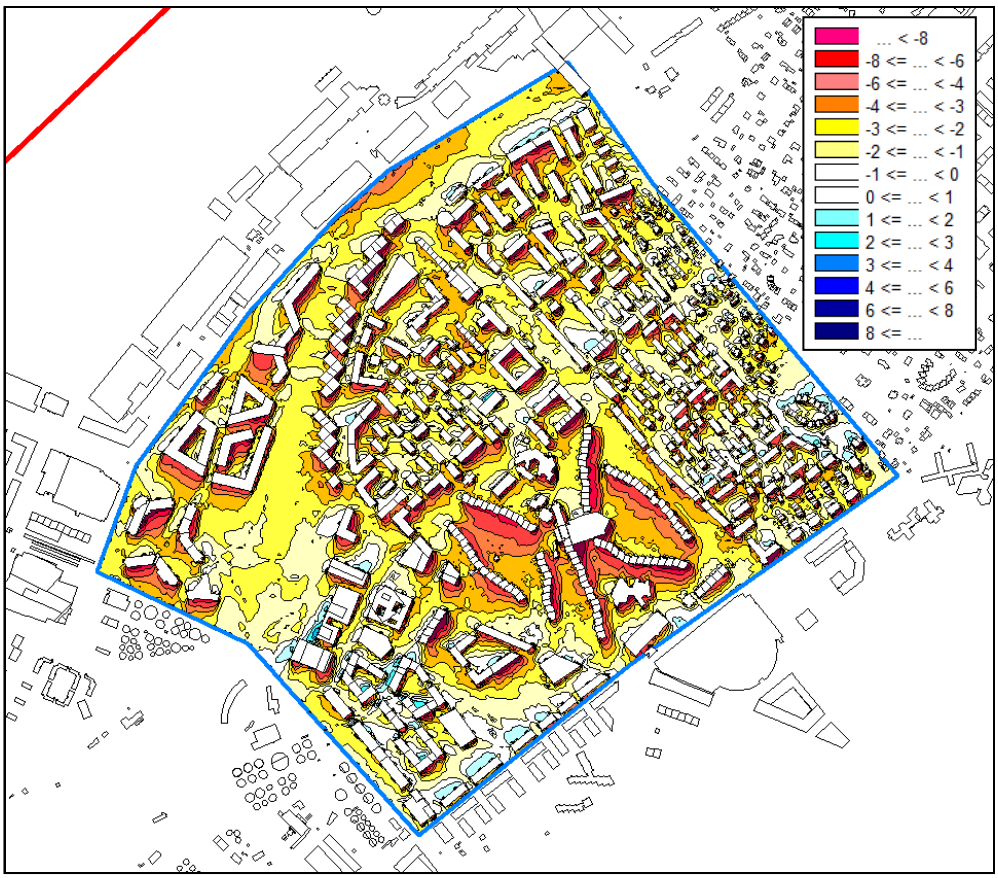

*Niveaux sonores moyens (Leq en dB(A)) pour la situation future 2050*



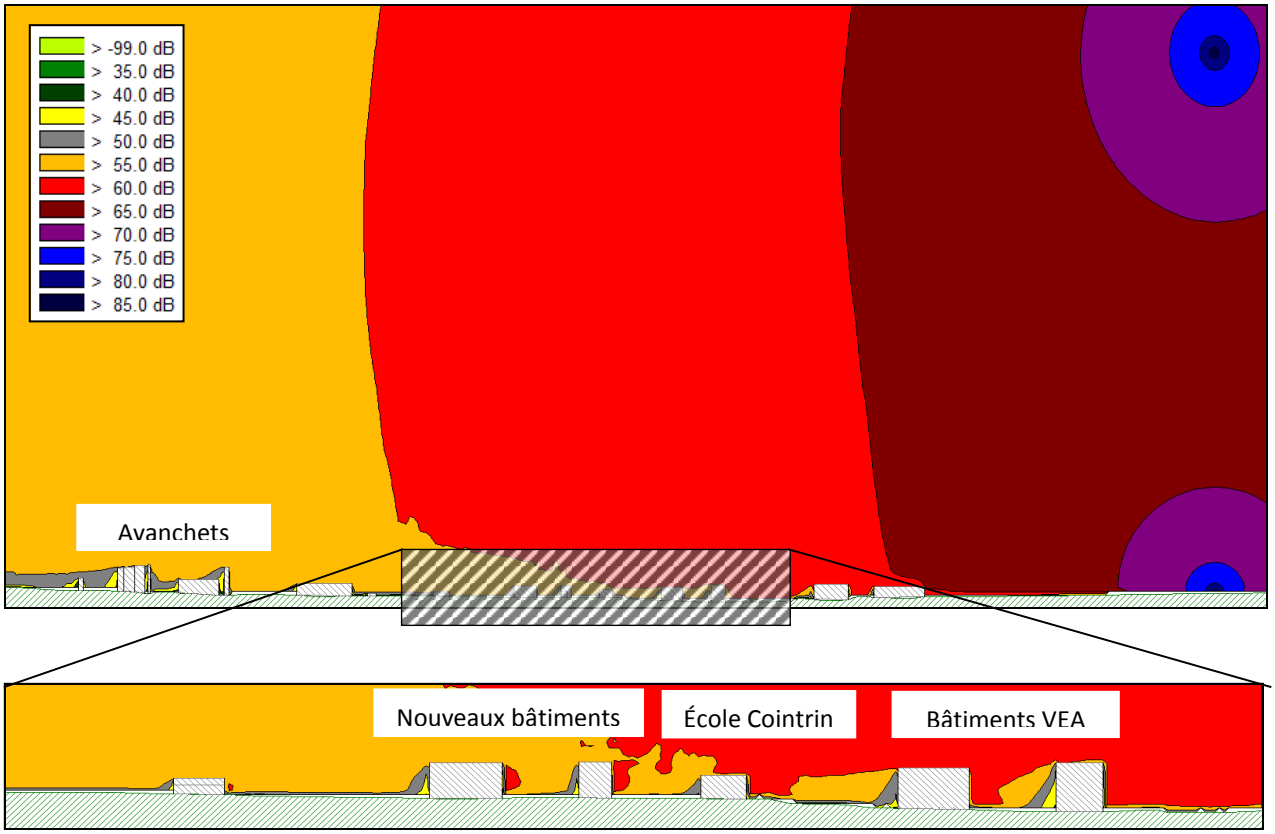

*Effets d'écran des constructions pour la situation future 2050*




*Effets de réflexion des constructions pour la situation future 2050*




*Effets globaux (écrans + réflexion) des constructions pour la situation future 2050*




*Coupe au droit de l'école de Cointrin, parallèle à l'avenue Louis-Casaï : Niveaux sonores et situation des sources de bruit (situation future 2050)*

## 4.3 Analyse de sensibilité des hypothèses retenues

Afin de vérifier l'influence des principales hypothèses prises en compte dans nos évaluations (voir chapitre 3.3), nous avons effectué des analyses de sensibilité de situations diversifiées, en faisant varier chacun des paramètres et en comparant les résultats entre eux, soit au niveau théorique, soit dans le logiciel lui-même.

Les résultats les plus significatifs de cette démarche pour les différentes situations étudiées sont les suivants :

Positions et pentes des avions au décollage et à l'atterrissage :

- La différence de niveaux sonores selon les différentes trajectoires des avions est relativement faible dans les espaces ouverts (vue directe sur les trajectoires des avions) et dans les espaces protégés (façades opposées à l'aéroport).
- Dans les espaces partiellement exposés et/ou partiellement protégés (par exemple façades Est ou Sud-Ouest des grands bâtiments), cette différence peut être localement importante à des emplacements proches des façades (de l'ordre de 5 dB(A)). Par exemple, une façade orientée à l'Est est protégée du bruit des avions avec un décollage en 2ème moitié de piste, mais peut être directement exposée au bruit des avions décollant au 1er tiers de piste.
- La modification du lieu de décollage sur la piste a donc une influence sur les façades exposées ou protégées du bruit des avions. Toutefois, cette modification ne fait que déplacer la source de bruit et donc aussi les secteurs environnants les plus touchés par le bruit des avions.
- Le tracé moyen retenu permet de caractériser la situation la plus proche de toutes celles qui peuvent être temporellement et localement observées.

Ordre de réflexion :

- Pour les cas généraux avec bâtiments isolés ou rectilignes (sans phénomène de réflexion multiple), ainsi que dans les quartiers d'habitation de faible densité, le calcul des réflexions avec un ordre 1 est suffisamment précis (l'écart avec un calcul plus détaillé est inférieur à 0.5 dB).
- Pour les cas particuliers avec réflexions multiples (bâtiment en L ou en U, bâtiment avec cour intérieure …), il est nécessaire de prévoir des calculs plus détaillés avec un ordre de réflexions d'ordre 2 (bâtiment en L) ou d'ordre 3 (bâtiment en U ou avec cour intérieure).
- Des ordres supérieurs de réflexion n'apportent plus de différence significative dans les résultats (différence de moins de 0.5 dB) même dans les situations les plus complexes étudiées sur ce site.

Absorption du sol :

- Selon nos différentes simulations, la différence de niveau sonore entre un sol complètement absorbant (gazon, prairie …) et un sol totalement réfléchissant (béton, bitume …) se situe entre 2 et 4 dB(A). Cette valeur dépend du coefficient d'absorption du sol et de l'angle d'incidence du bruit de l'avion par rapport au sol.
- La prise en compte par défaut dans les calculs d'un sol absorbant correspond aux hypothèses retenues pour le cadastre OFAC et se rapproche de la situation actuelle où le secteur est relativement peu construit.
- Par contre, le choix d'un sol absorbant ou réfléchissant n'a pas d'influence directe sur les effets d'écran et de réflexion des bâtiments qui sont considérés comme des phénomènes indépendants de l'état du sol selon la méthode de calcul ISO 9613-2.

# 5. RÉSULTATS DÉTAILLÉS POUR 3 SECTEURS EN PLANIFICATION

Trois secteurs ont été analysés de manière plus détaillée du fait que leur planification est en cours et qu'il existe déjà des projets d'implantation pour de nouveaux bâtiments.

L'analyse préliminaire de ces 3 secteurs permet de mettre en évidence les emplacements où les niveaux sonores dus au bruit des avions risquent d'être plutôt réduits (effets d'écran des bâtiments) et où les niveaux sonores risquent d'être augmentés (effets de réflexion des bâtiments).

Les mesures proposées constituent un catalogue assez général des mesures envisageables du point de vue de la protection contre le bruit et ne correspondent pas à un ordre de priorité particulier. C'est la prise en compte cumulée de plusieurs de ces mesures qui permet d'optimiser le projet du point de vue de la protection contre le bruit et du confort sonore.

Cette analyse doit être poursuivie dans le cadre du développement de ces quartiers afin de vérifier en tenant compte des projets architecturaux plus détaillé si les mesures proposées sont nécessaires afin de l'imiter l'impact des nouveaux bâtiments sur l'environnement sonore.

## 5.1 Quartier de la Vitrine Economique de l'Aéroport (VEA)

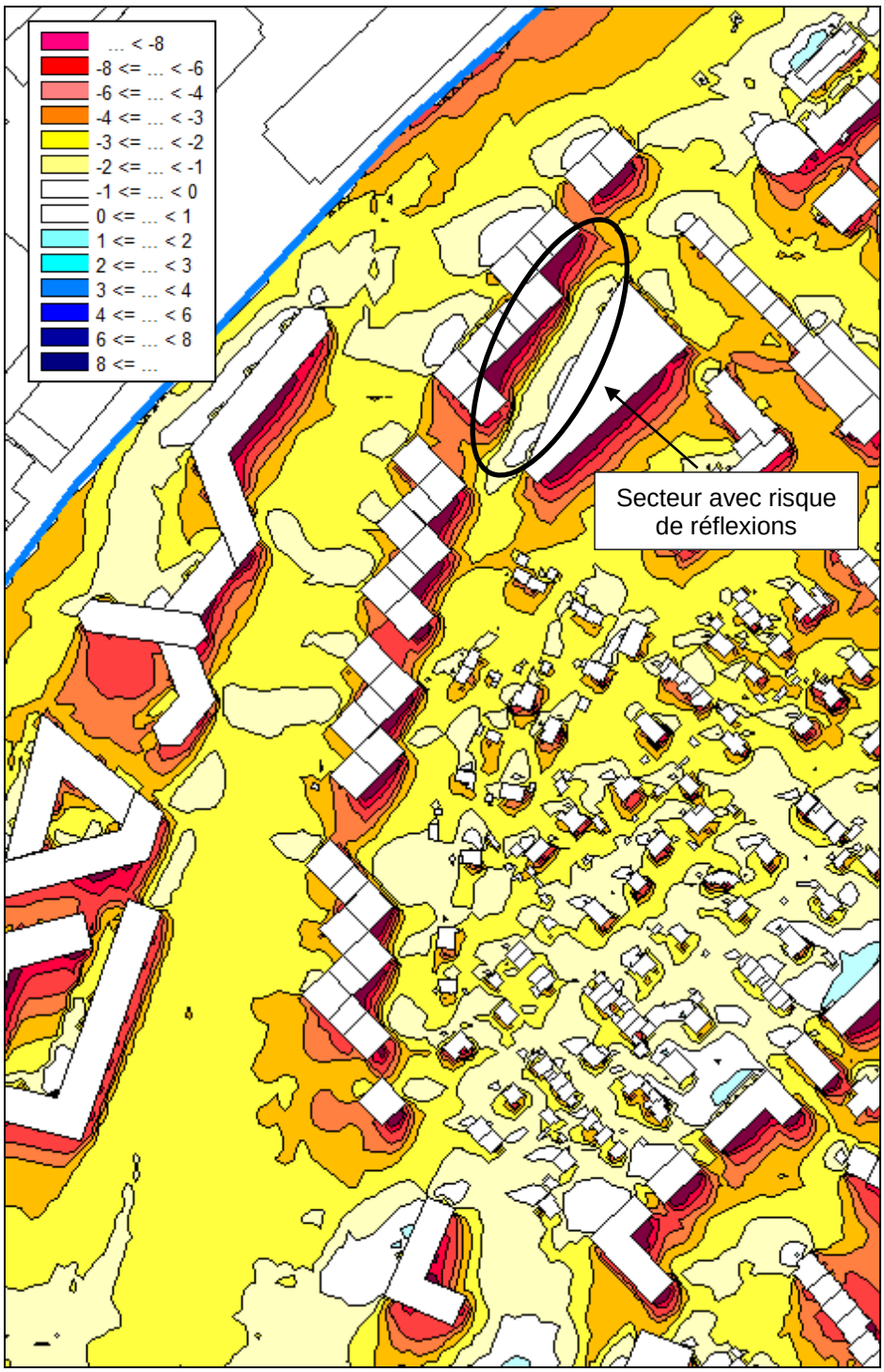
Ce quartier est situé au Sud de l'aéroport en bordure de l'autoroute à environ 700 mètres de la piste. Le projet est destiné à des bâtiments d'activités et les valeurs limites pour le bruit des avions sont respectées. Les nouveaux bâtiments sont prévus avec un alignement parallèle à l'autoroute selon une trame alternant les bâtiments hauts, les bâtiments moins élevés et les espaces ouverts.

Pour les bâtiments existants situés à l'Est du chemin du Ruisseau, le développement de ce quartier n'apporte que peu de modification. Aucune réflexion supplémentaire n'est prévisible et les effets d'écran restent limités à une zone assez réduite de quelques dizaines de mètres derrière les nouveaux bâtiments, pour les raisons suivantes :

- Les avions au droit du quartier VEA sont déjà relativement hauts dans le ciel.
- Ces bâtiments sont relativement proches de l'axe de décollage.
- Leur implantation ne présente pas un front bâti continu qui permettrait d'obtenir un effet d'écran plus important.

Dans le nouveau quartier, les effets d'écran et de réflexion sont aussi très limités entre bâtiments. Ils se situent principalement au nord du VEA et du côté de l'autoroute, dans un secteur déjà très fortement exposé au bruit (voir carte en page suivante).

La disposition des bâtiments (articulés et à env. 45° par rapport à l'axe de la piste de l'aéroport) ne modifiera que peu le niveau sonore moyen, mais générera des perceptions différenciées aux façades N.O. et S.O., selon que les avions seront plus ou moins protégés ou réfléchis au cours de leur progression dans le ciel.




*Quartier VEA – effet global de l'ensemble des bâtiments*

Pour optimiser ce projet, les mesures suivantes sont envisageables :

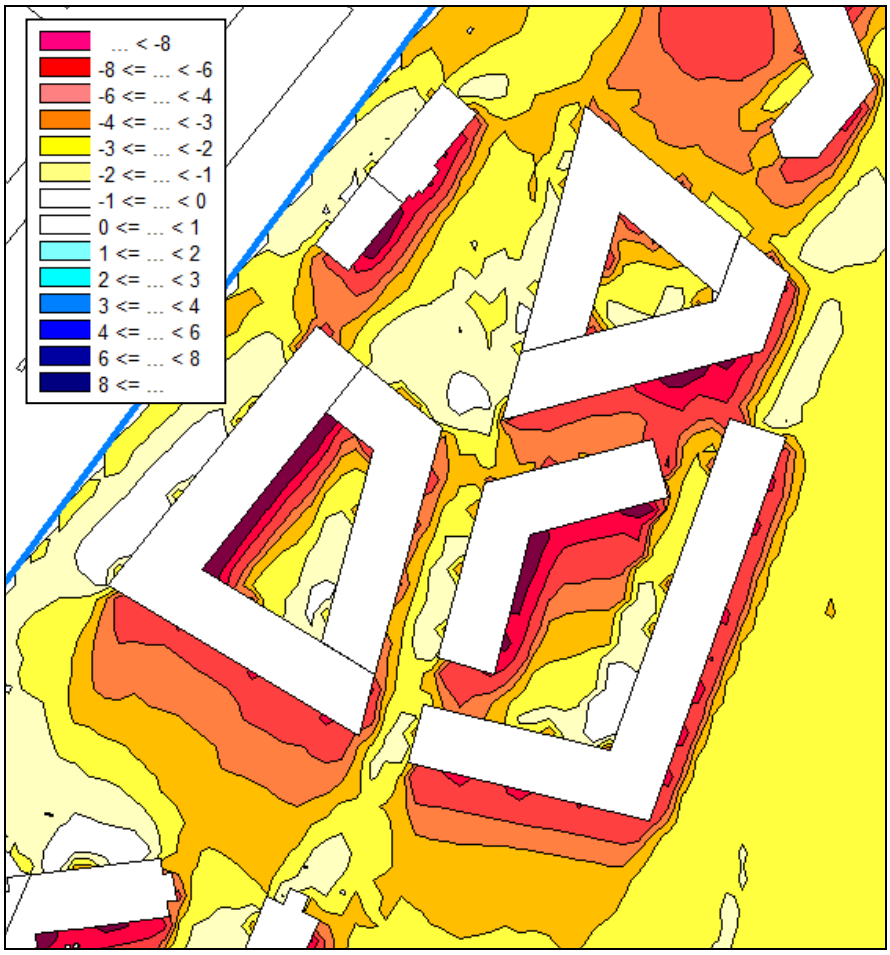
- Mieux protéger les espaces à l'arrière des nouveaux bâtiments en réduisant les espaces vides entre eux (sols végétalisés et façades absorbantes dans les espaces vides entre bâtiments). Cette mesure est aussi favorable par rapport au bruit de l'autoroute.
- Façades absorbantes ou inclinées (év. façades diffusantes) pour le(s) bâtiment(s) dans le secteur Nord du VEA, modifier l'orientation du(des) bâtiment(s) pour éviter des façade continues presque parallèles

## 5.2 Quartier Pré-Bois

Le secteur est situé au Sud de l'aéroport à environ 700 mètres de la piste. Le projet est destiné principalement à des bâtiments d'activités et les valeurs limites pour le bruit des avions sont respectées. Les nouveaux bâtiments sont prévus sous la forme de 3 îlots plus ou moins fermés avec :

- Des secteurs protégés du bruit dans les cours intérieures et derrière les façades Est
- Des secteurs exposés au bruit des avions à l'avant des bâtiments (façades Ouest) ainsi que dans certaines parties des cours intérieures.

La réalisation de ce quartier n'a pas d'impact significatif pour le bruit des avions sur les secteurs voisins.




*Quartier Pré-Bois – effet global de l'ensemble des bâtiments*

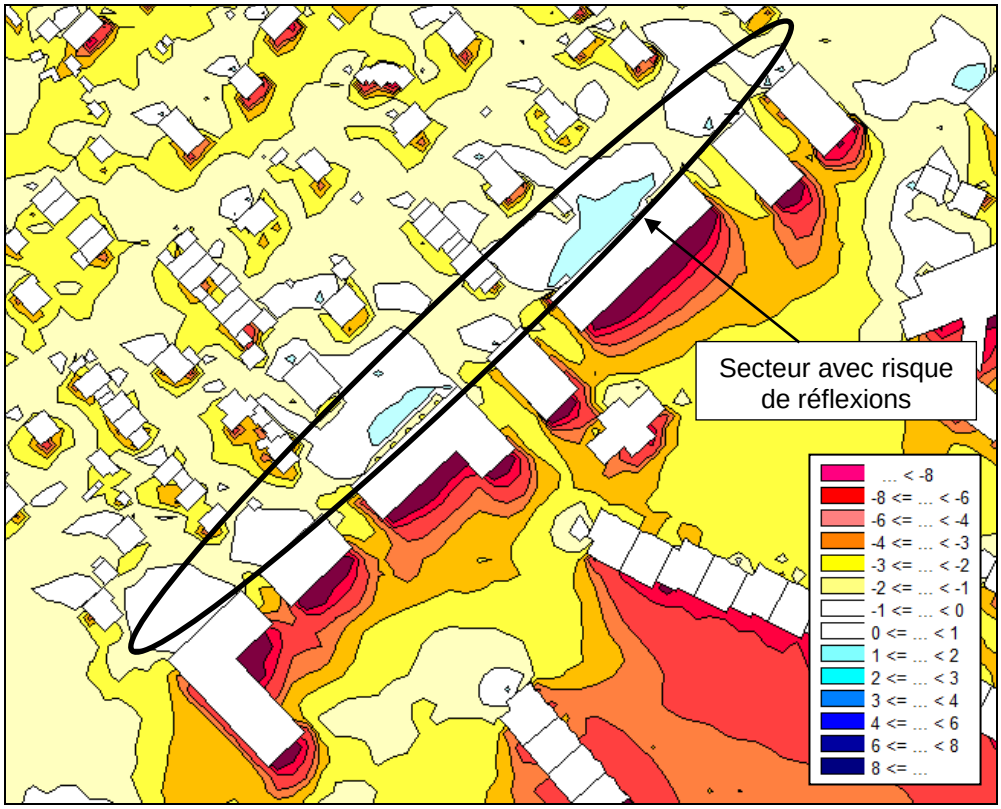
Pour optimiser ce projet (diminuer le bruit et améliorer le confort dans les cours intérieures), les mesures suivantes sont envisageables :

- Fermer complètement les cours intérieures : éviter les espaces vides entre les bâtiments
- Prévoir les bâtiments les plus élevés du côté aéroport de manière à apporter un effet d'écran significatif pour les cours intérieures et pour les façades situées de l'autre côté de la cour. Cette mesure est particulièrement utile pour l'îlot Nord (triangulaire) dont la hauteur des bâtiments est défavorable (bâtiment le moins haut situé du côté de l'aéroport avec un faible effet d'écran et bâtiment le plus haut du côté opposé avec réflexion importante, voir schéma chapitre 6.1.5).
- Façades donnant dans les cours intérieures et exposées au bruit des avions : façades si possible absorbantes ou inclinées, façades diffusantes (balcons ...)
- Sol végétalisé dans les cours intérieures et entre les bâtiments proches

## 5.3 Quartier du chemin de l'Avanchet

Le secteur est situé à une distance d'environ 1.1 km de la piste de l'aéroport, les valeurs limites pour le bruit des avions sont nettement respectées. Les nouveaux bâtiments (affectation mixte avec des activités au rez-de-chaussée et des logements aux étages supérieurs) sont implantés principalement parallèlement à la piste de l'aéroport avec comme conséquence :

- Secteurs protégés du bruit à l'arrière des bâtiments (côté Sud-Est)
- Secteurs exposés au bruit des avions à l'avant des bâtiments (chemin de l'Avanchet, côté Nord-Est) avec réflexions possibles




*Quartier du chemin de l'Avanchet – effet global de l'ensemble des bâtiments*

Le développement de ce secteur avant le quartier de faible densité situé au Nord du chemin de l'Avanchet risque de provoquer une augmentation du bruit des avions pour les bâtiments actuels situés directement au Nord du chemin de l'Avanchet (en particulier contre les façades Sud-Est actuellement protégées, voir chapitre 6.6). Pour limiter ces réflexions et optimiser ce projet, les mesures suivantes sont envisageables :

- Façades Nord-Ouest absorbantes ou inclinées, façades diffusantes (balcon…)
- Sol végétalisé, végétation (arbres) entre les nouveaux bâtiments et le chemin de l'Avanchet
- Eloigner les nouveaux bâtiments du chemin de l'Avanchet (pour limiter les réflexions en direction des bâtiments existants au Nord du chemin de l'Avanchet)
- Mieux protéger les espaces à l'arrière des nouveaux bâtiments en réduisant les espaces vides entre eux (avec le risque d'augmenter les surfaces réfléchissantes)
- Utiliser les secteurs protégés du bruit à l'arrière des bâtiments (côté Sud) comme zone de détente et pour des activités non bruyantes (éviter les activités bruyantes)
- Privilégier une typologie des appartements avec des locaux peu sensibles sur les façades exposées au bruit et prévoir de préférence des appartements traversant qui possèdent une (grande) partie des pièces sensibles (séjour, chambre) sur une façade peu bruyante

# 6. OPTIMISATION DES PROJETS

Dans le but d'aider les aménageurs à mieux optimiser leurs projets en ce qui concerne la dimension sonore, ce chapitre tente de mettre en évidence les conséquences des choix architecturaux et urbanistiques sur la propagation du bruit des avions dans le secteur. Il traite en particulier de la disposition des formes urbaines, de la matérialité de celles-ci et d'autres critères de qualité sonore tels que la disposition des affectations, la temporalité des interventions, etc.

## 6.1 Formes urbaines

Ce paragraphe regroupe différents types de formes urbaines et leurs conséquences sur l'espace sonore.

Pour faciliter la lecture, les appellations simplifiées ci-dessous désigneront les concepts suivants :

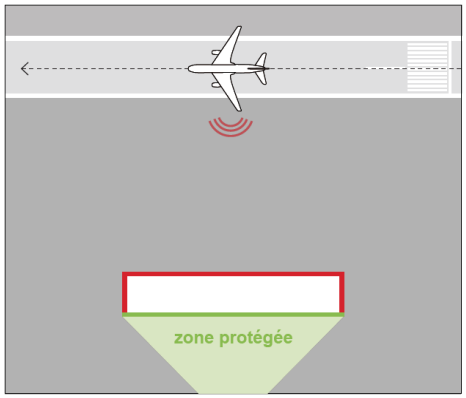
- L'avant des bâtiments (devant) = espace situé entre le tracé du passage des avions et le bâtiment concerné (espace directement exposé au bruit des avions).
- L'arrière des bâtiments (derrière) = espace situé du côté opposé des bâtiments par rapport au tracé du passage des avions (espace protégé du bruit direct des avions).

Chaque type de forme urbaine est analysé selon les éléments suivants :

- un ou plusieurs schémas explicatifs sur la propagation du bruit des avions (en plan et/ou en coupe)
- des commentaires sur ses avantages et/ou ses inconvénients
- un ou plusieurs exemples tirés directement du secteur étudié

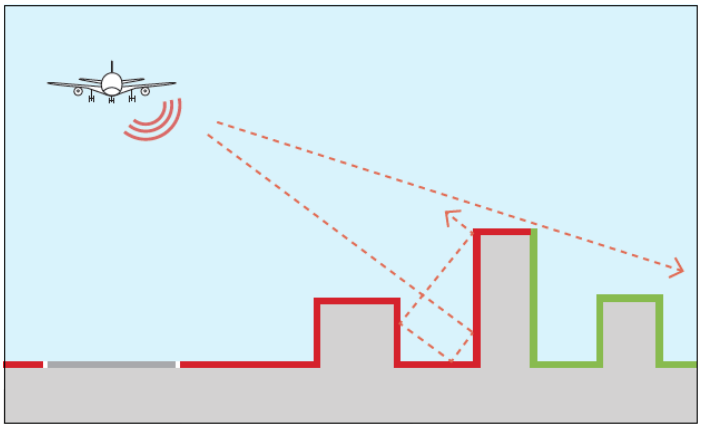
### 6.1.1 Bâtiments parallèles à la piste

*Grande surface de façade et de terrain protégée à l'arrière*



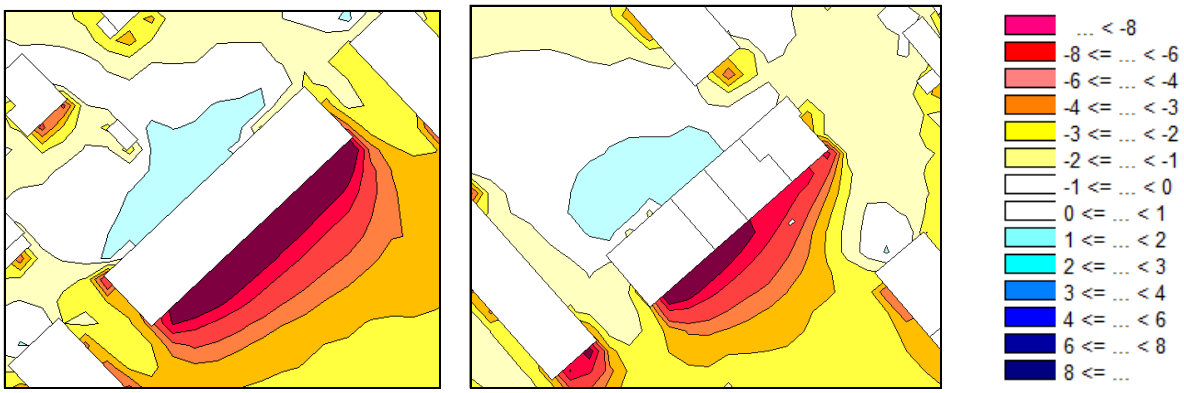

Faces exposées
Faces protégées

*Effet d'écran pour les bâtiments situés derrière*
*Risque de réflexion contre les bâtiments situés devant*



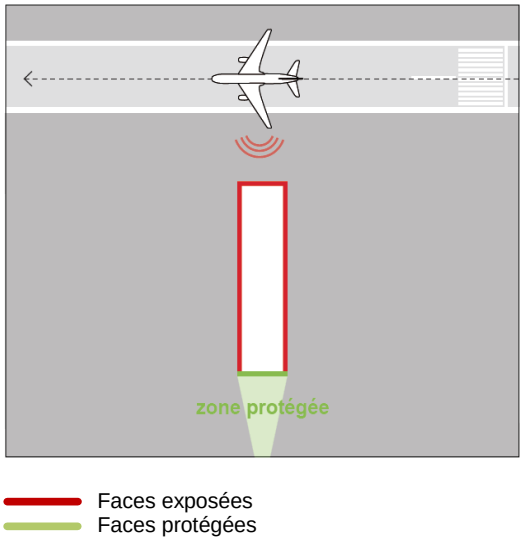
Ce type de disposition :

- offre une grande surface de façade et de terrain protégée à l'arrière du bâtiment
- permet de générer un effet d'écran pour les bâtiments disposés derrière (selon hauteur et distance)
- risque de générer des réflexions contre les bâtiments disposés devant (selon hauteur et distance)

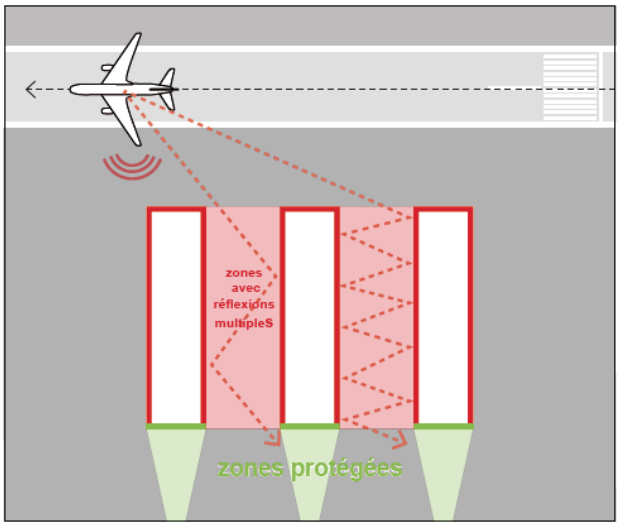


### 6.1.2 Bâtiments perpendiculaires à la piste

*Faible surface de façade et de terrain protégée à l'arrière*

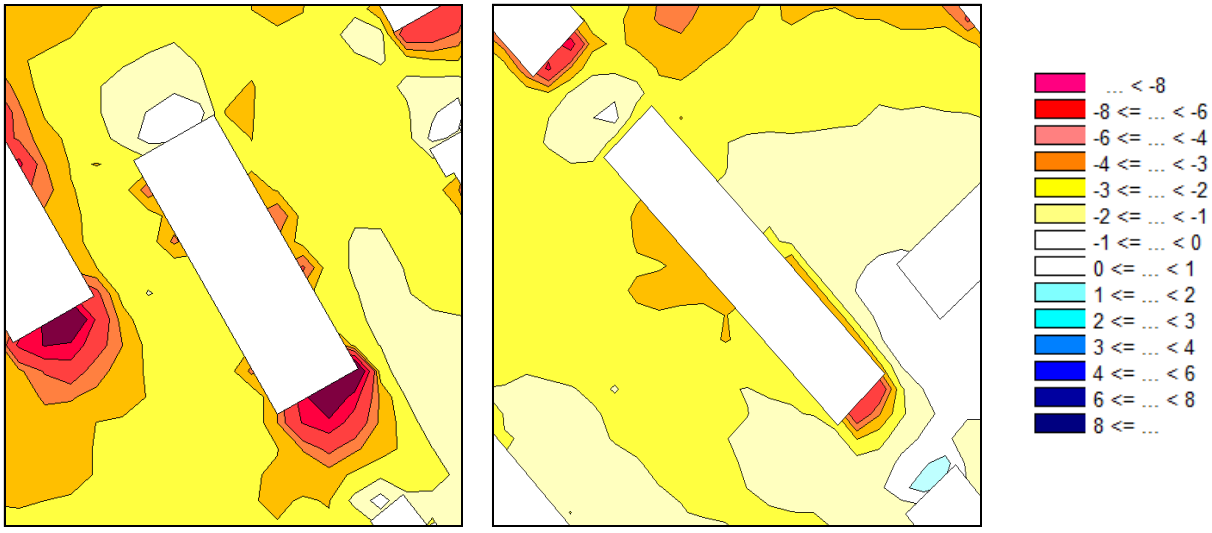



*Risque de réflexions entre bâtiments voisins (multiples si juxtaposés)*



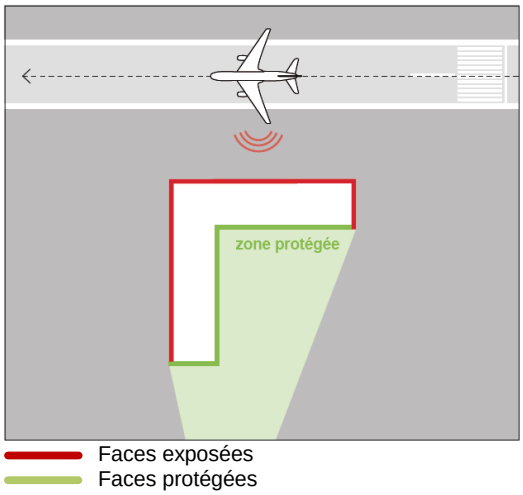

Ce type de disposition :

- offre une faible surface de façade et de terrain protégée à l'arrière du bâtiment
- offre peu d'effet d'écran sur les bâtiments voisins
- risque de générer des réflexions contre les bâtiments voisins (multiples si juxtaposés)

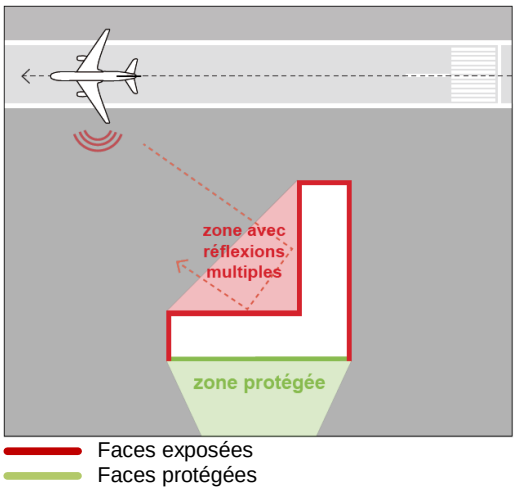


### 6.1.3 Bâtiments en forme de L

*Grande surface de façade et de terrain protégée à l'arrière*

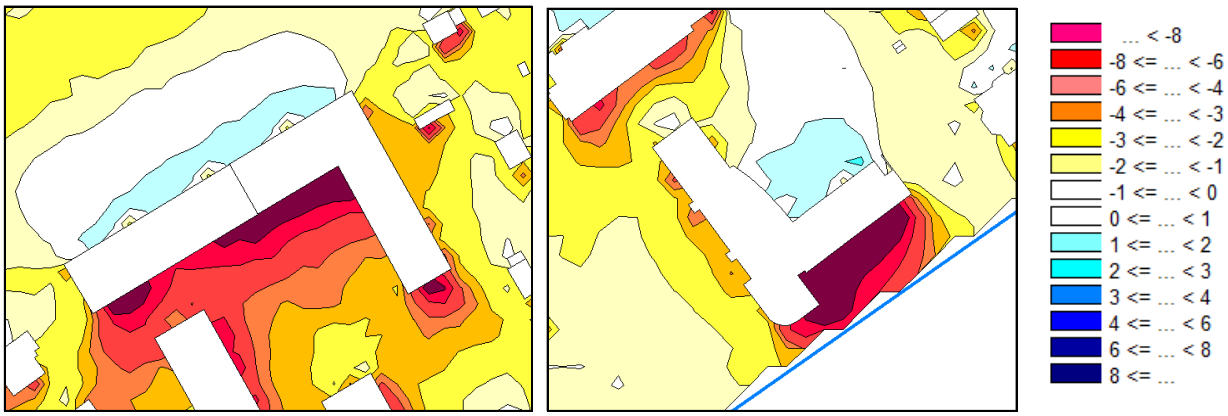



*Grande surface de façade et de terrain exposée à l'avant*



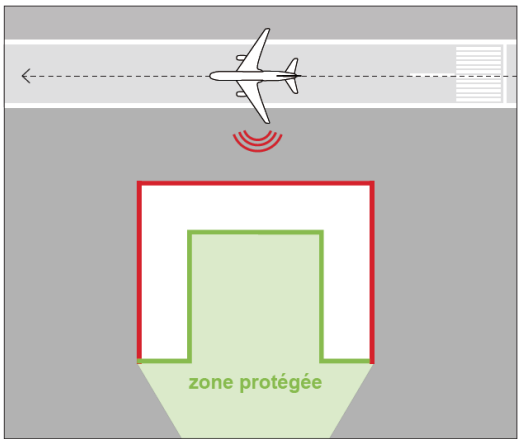

Ce type de disposition :

- combine les avantages et les inconvénients des deux exemples précédents
- selon orientation offre plus ou moins de surface de façade et de terrain protégée à l'arrière
- risque de générer des réflexions multiples dans les angles exposés au bruit



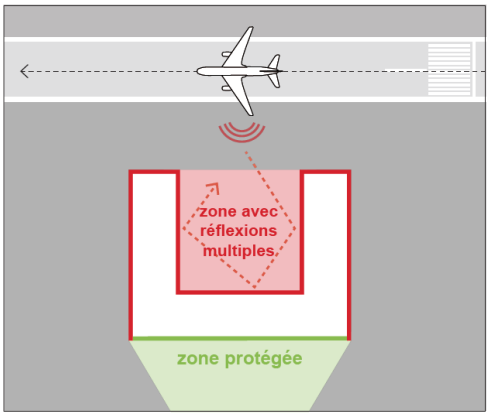
### 6.1.4 Bâtiments en forme de U

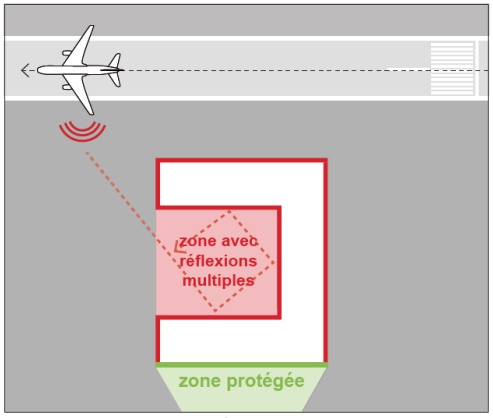
*Grande surface de façade et de terrain protégée à l'arrière*




Faces exposées
Faces protégées

*Grande surface de façade et de terrain exposée à l'avant ou latéralement*

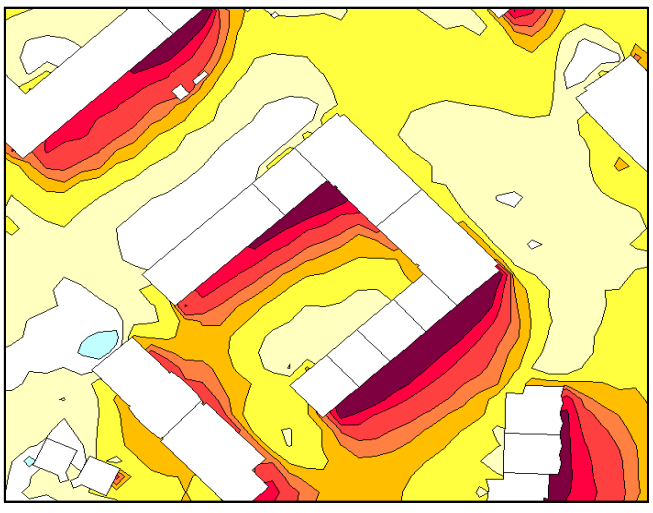



Faces exposées
Faces protégées

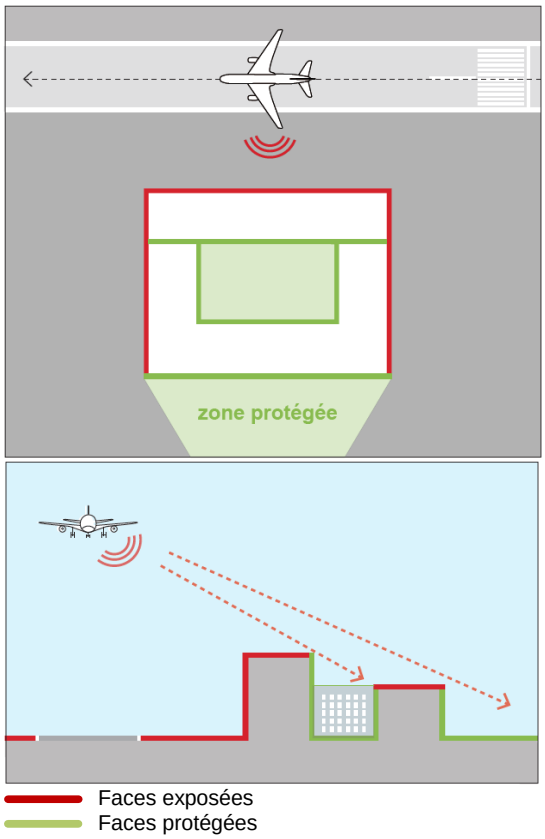
Ce type de disposition :

- offre une grande surface de façade et de terrain protégée à l'arrière
- selon orientation offre plus ou moins de surface de façade et de terrain protégée latéralement
- risque de générer des réflexions multiples dans les ouvertures exposées au bruit

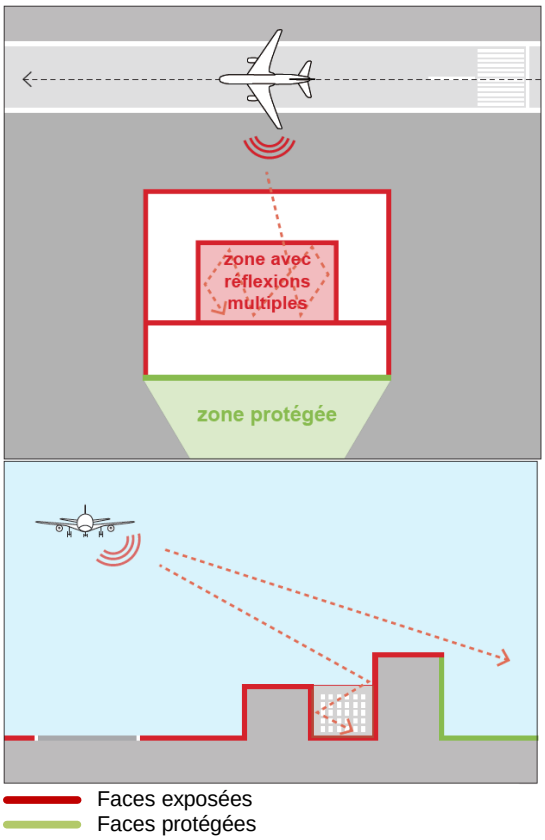


### 6.1.5 Bâtiments avec cour intérieure

*Cour intérieure bien protégée*
*(bâtiment avant plus haut)*

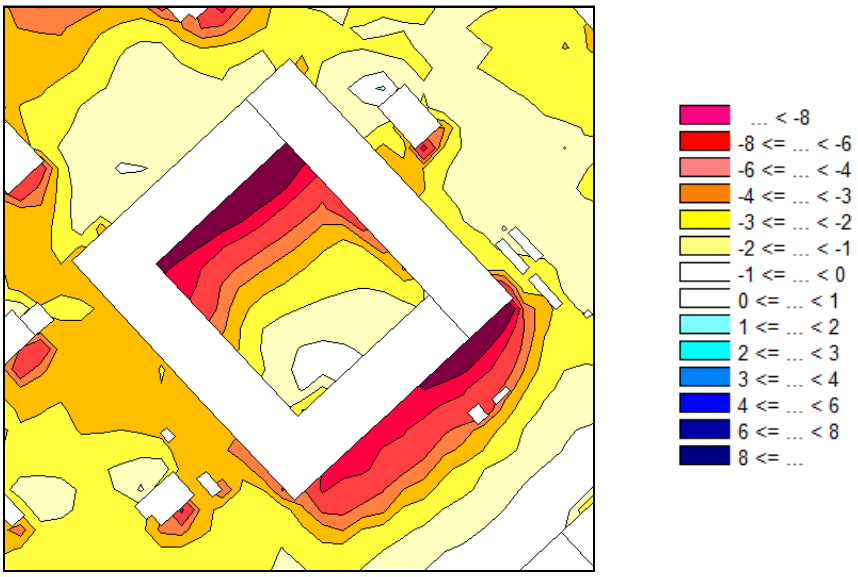



*Cour intérieure moins protégée*
*(bâtiment avant de même hauteur ou plus bas)*




Ce type de disposition :

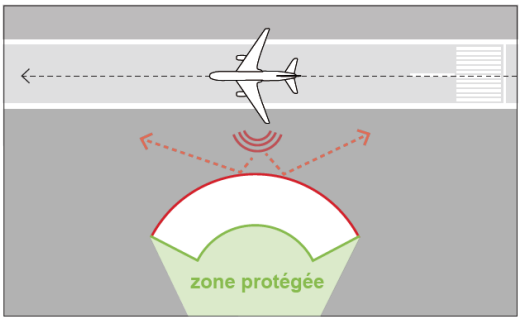
- offre une grande surface de façade et de terrain protégée à l'arrière du bâtiment
- offre une grande surface de façade et de terrain protégée dans la cour
- risque de générer des réflexions multiples dans la cour (selon hauteurs)



### 6.1.6 Bâtiments avec formes arrondies

Courbure concave :

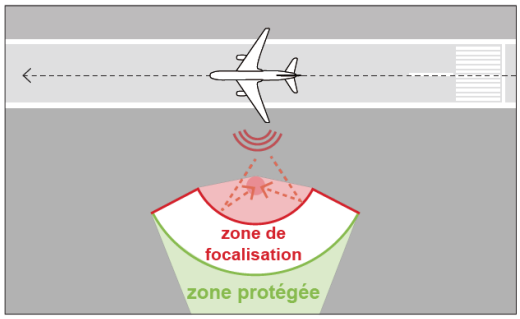
*Diffusion du bruit des avions aux alentours*




Faces exposées
Faces protégées

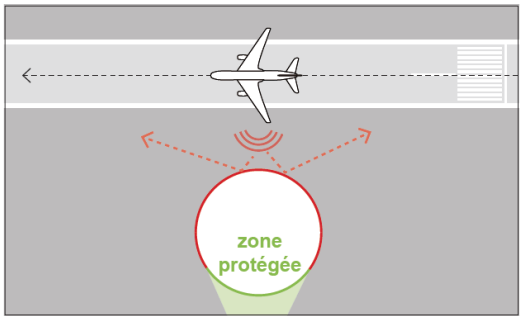
Courbure convexe :

*Focalisation du bruit des avions devant*



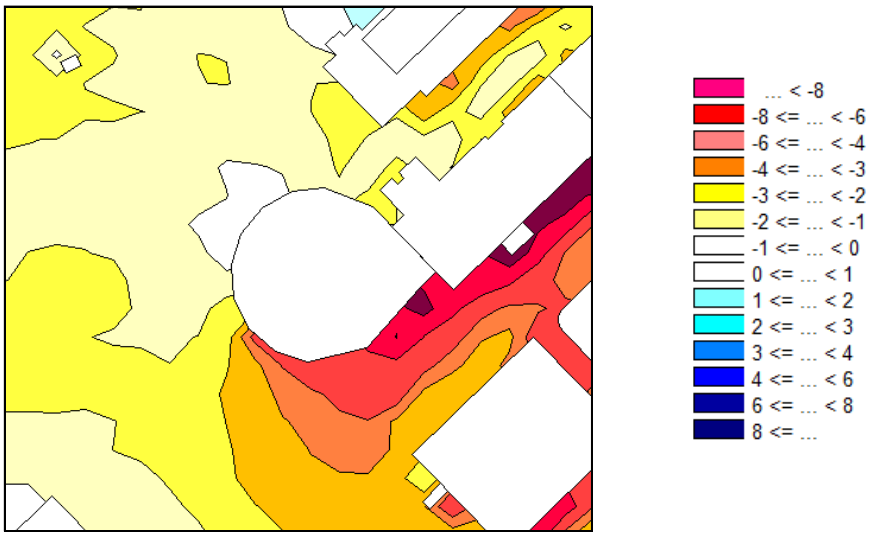

Faces exposées
Faces protégées

*Faible surface de façade et de terrain protégée à l'arrière*




Ce type de disposition :

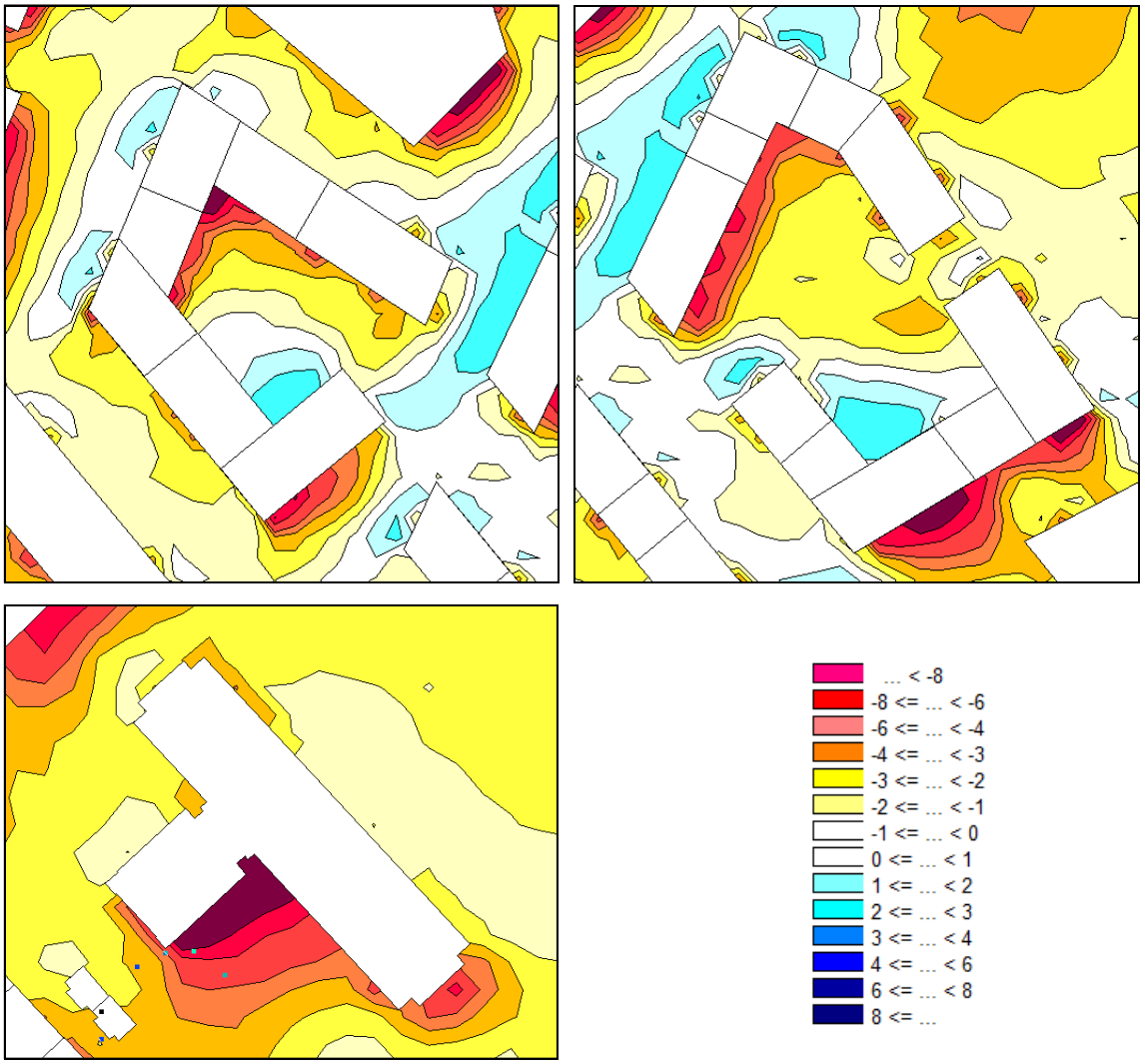
- offre peu de surface de façade et de terrain protégée à l'arrière du bâtiment et sur les bâtiments voisins
- génère de la diffusion ou des focalisations selon la courbure (concave ou convexe)



### 6.1.7 Bâtiments avec combinaison de plusieurs formes

Ce type de disposition :

- nécessite une analyse au cas par cas de chaque situation
- permet d'optimiser les formes des bâtiments (selon les différents effets mentionnés ci-avant)
- permet de travailler les interactions entre bâtiments (selon les différents effets mentionnés ci-avant)



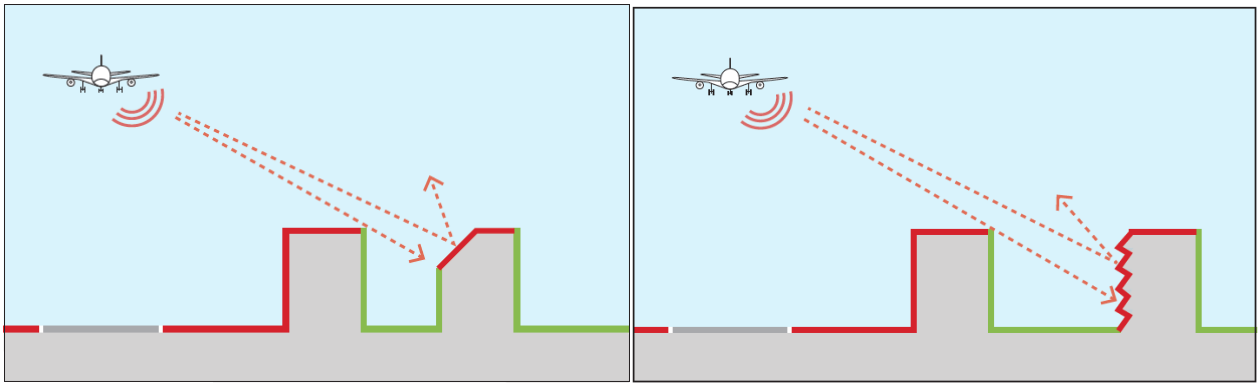
## 6.2 Forme et matérialité des façades

Lorsque, malgré les efforts d'aménagement, les formes urbaines retenues ne permettent pas d'éviter la présence de réflexions gênantes sur une façade, il est possible d'intervenir sur la forme et la matérialité des façades au moyen des solutions suivantes (par ordre de préférence) :

- Façade orientée (permettant de diriger les réflexions à l'écart des bâtiments sensibles voisins)
- Façade absorbante (permettant de diminuer l'intensité des réflexions par absorption)
- Façade diffusante (permettant de répartir les réflexions dans l'espace et de limiter les localisations)

### 6.2.1 Façade orientée :

Le principe général d'une façade orientée est de diriger les réflexions du bruit des avions dans une direction non sensible au bruit (en l'air).

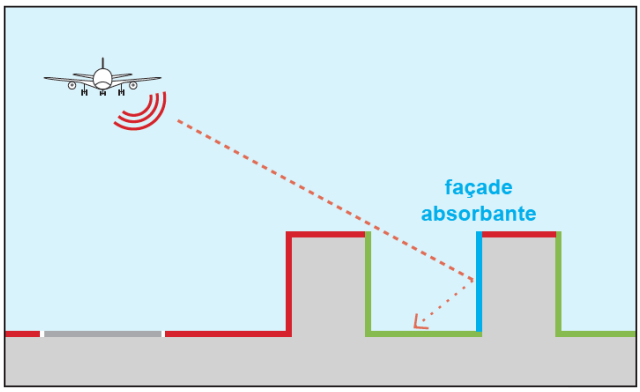


Pour être efficace dans les basses fréquences, les éléments orientés doivent avoir une dimension d'au moins 1,5 mètres pour des réflexions orientées dès 250 Hz et, si possible d'au moins 3 mètres, pour des réflexions orientées dès env. 125 Hz.

### 6.2.2 Façade absorbante :

Les façades absorbantes peuvent être constituées de différents matériaux absorbants adaptés pour l'extérieur. En général, cette façade est constituée d'un parement perforé ou ajouré (tôle perforée, métal déployé, lame de bois ajourée, brique perforée, plaque béton perforé ....) et d'une isolation acoustique absorbante à l'arrière (en général de la laine minérale). Certains matériaux sont directement constitués d'éléments absorbants pouvant être exposés à l'extérieur sans protection particulière (béton de lave, végétation avec substrat …).

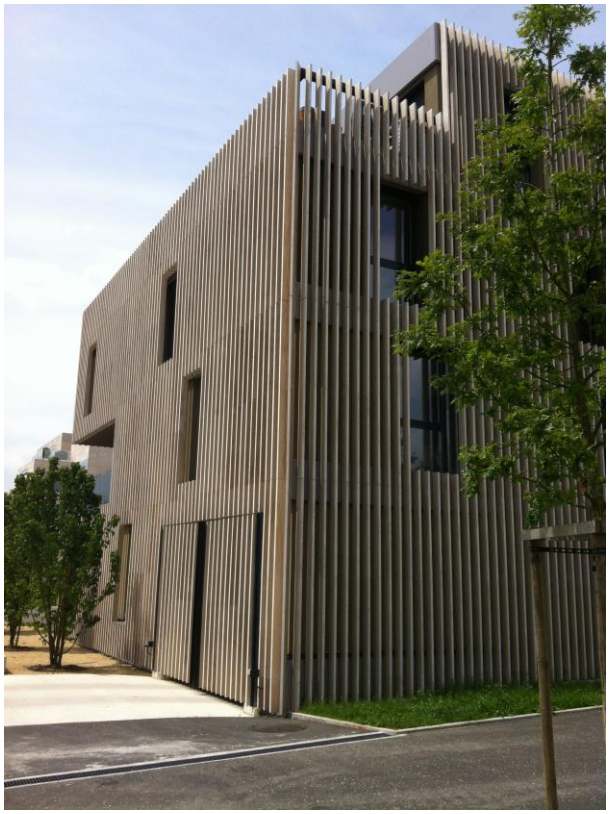
L'efficacité globale de cette mesure dépend du coefficient d'absorption de ces matériaux et des éventuelles surfaces vitrées résiduelles (surfaces réfléchissantes).



Exemples de façades absorbantes :

*Tôle métallique perforée (ou métal déployé)*

*Béton absorbant (béton de lave)*

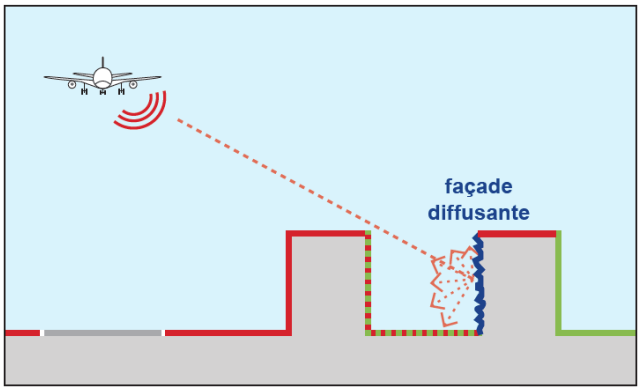


*Lame de bois ajourée*

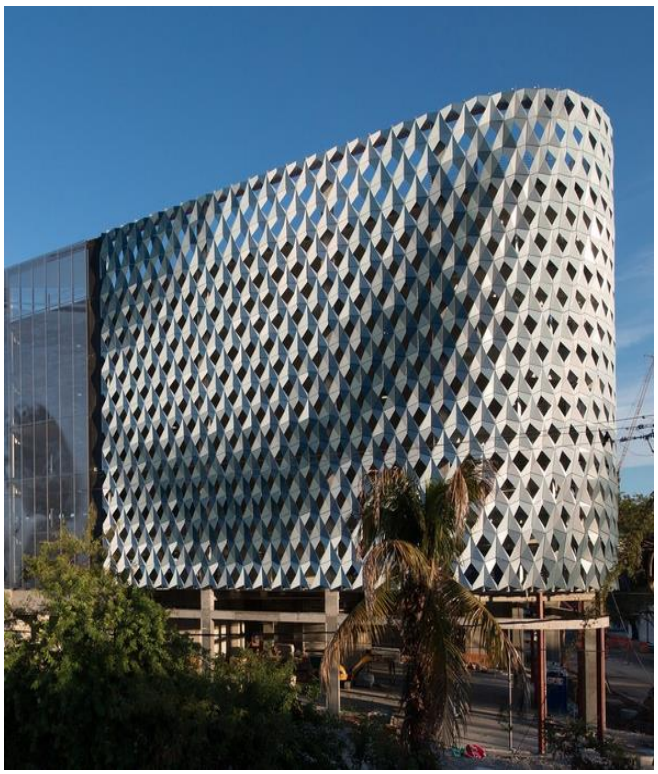
*Façade végétalisée*

### 6.2.3 Façade diffusante :

Les façades diffusantes permettent de « disperser » le bruit qui se réfléchit dans un grand nombre de directions. Ce phénomène ne permet pas de réduire le niveau sonore global, mais permet d'éviter des réflexions spéculaires potentiellement gênantes. Pour être diffuse, une façade devrait être irrégulière et comporter de nombreux éléments de taille et d'orientation variables, si possible des éléments convexes.




Exemples d'éléments diffusants (balcons, acrotères, marquise, colonne, pliage des façades < 1m) :

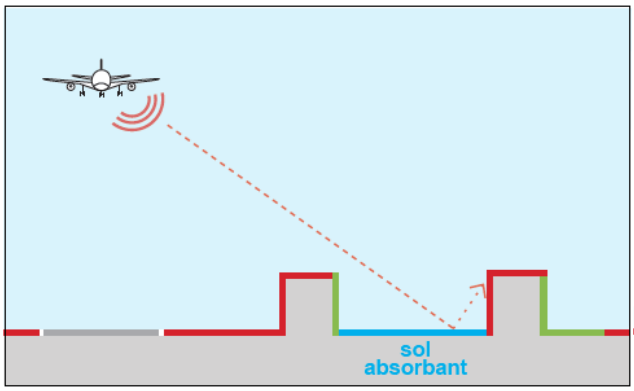


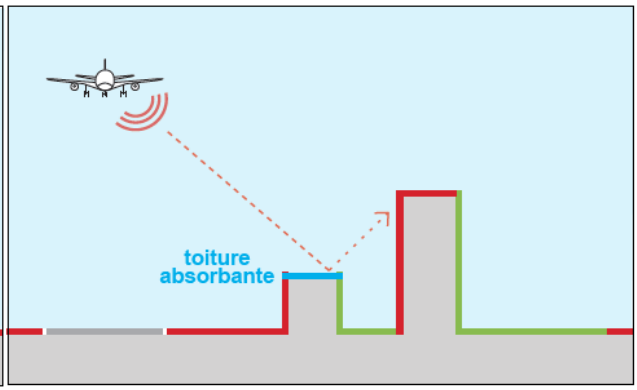
### 6.2.4 Combinaison de réflexion - absorption - diffusion

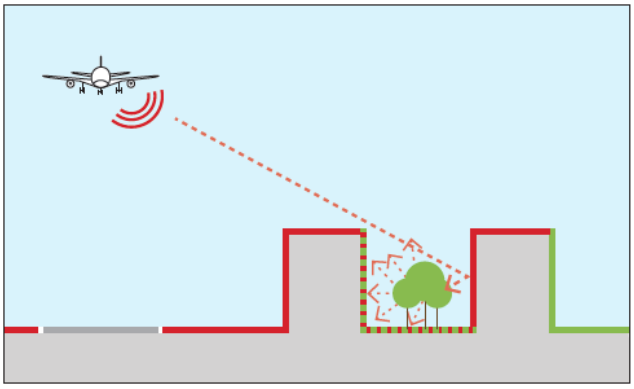
Dans certains cas, les différents matériaux des façades génèrent une combinaison de ces différents effets (réflexions, absorption et diffusion). Les types de façade à mettre en œuvre sont donc à inventer selon les principes acoustiques énoncés ci-dessus et l'esthétique souhaitée.

## 6.3 Sol absorbant dans les espaces extérieurs

Un sol absorbant dans les espaces extérieurs permet de limiter les réflexions du bruit au sol (et sur les toitures), en particulier lorsque celles-ci se situent devant une façade sensible, ou pour rendre plus diffus le bruit des avions (bruit directe ou bruit après réflexion). Cela peut se matérialiser non seulement par un sol végétalisé (gazon, prairie, culture, arbuste, arbre...), mais aussi par des matériaux présentant des qualités d'absorption et/ou de diffusion (gravier, sol souple de type place de jeux, mobilier urbain…).



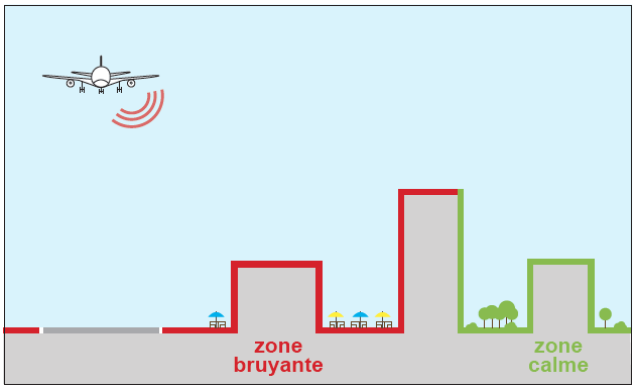



## 6.4 Aménagement et affectations des espaces extérieurs

La coordination des aménagements extérieurs (privés ou publics) permet de préserver les zones calmes (zones protégées du bruit des avions) et de concentrer les activités bruyantes dans les secteurs déjà exposés au bruit :

- Prévoir les espaces de repos et de rencontre non bruyants dans les endroits protégés du bruit des avions et de la circulation automobile.
- Disposer les lieux de rencontre bruyants devant des façades de bâtiment non sensibles (bureau, commerce, etc.) ou déjà exposées au bruit des avions ou de la circulation.

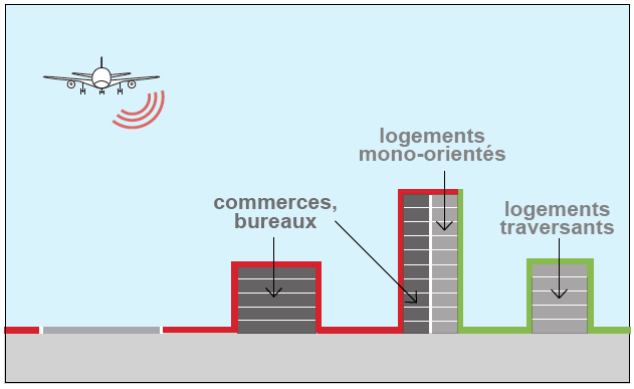



Il est aussi possible de créer des bruits réguliers perçus comme agréable (fontaine, ruisseau…) pour favoriser les effets de masquages et limiter les émergences en cas d'activités bruyantes en secteur calme.

## 6.5 Choix de l'affectation et de la typologie

Lorsque des façades sont fortement exposées au bruit, il est possible de limiter en partie la gêne dans les bâtiments par des choix typologiques appropriés, par exemple :

- Privilégier une affectation avec des locaux peu sensibles sur les façades exposées au bruit et des appartements sur les façades protégées.



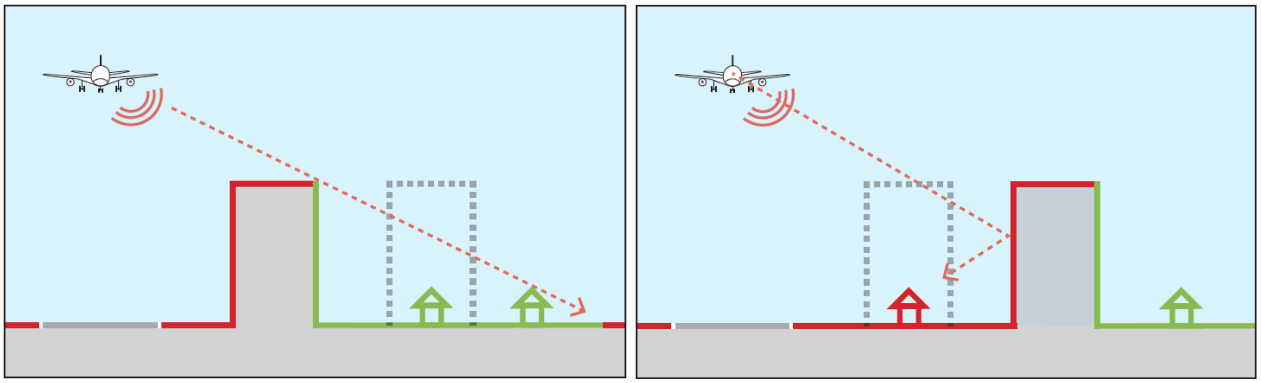

- Prévoir une typologie des appartements (logement traversant) qui possèdent une (grande) partie des pièces sensibles (séjour, chambre) sur une façade peu bruyante.

- Prévoir des éléments « tampons » peu sensibles au bruit du côté de la zone bruyante (par exemple coursive)

## 6.6 Temporalité des interventions et interactions entre projets

Etant donné que la densification du quartier est prévue sur une certaine durée, il est judicieux, lors de chaque nouveau projet, de réfléchir d'une part à son incidence sur les bâtiments existants actuels, et d'autre part sur les interactions avec les différents projets futures. Pour ce faire :

- Commencer si possible avec la construction des nouveaux bâtiments hauts proches de l'aéroport, puis reculer ensuite (pour éviter de créer des réflexions arrières contre les villas existantes).



*Cas favorable* *Cas défavorable*

- Réfléchir au positionnement du projet en cours en s'intéressant aussi aux autres projets futurs alentours (pour par exemple éviter de protéger un espace ou une façade qu'un autre projet viendra ensuite à nouveau rendre bruyant par réflexion)

# 7. CONCLUSION

Cette étude a permis de définir différents phénomènes propres au bruit des avions et de son interaction avec le domaine bâti dans une zone urbaine présentant des caractéristiques très variables quant à la densité (actuelle et future) des constructions. Il s'agit principalement des effets d'écran et de réflexion des bâtiments. Ces résultats ont permis dans un 2ème temps d'analyser de manière plus précise les formes urbaines les plus courantes et de proposer des mesures d'aménagement en vue de réduire les éventuels effets indésirables liés aux nouvelles constructions (augmentation du bruit due à des effets de réflexion).

Dans le cadre de la situation particulière du secteur étudié (proche de l'aéroport et à côté de la piste), elle a permis de mettre en évidence les éléments suivants :

- Les effets d'écran et de réflexion sont surtout significatifs dans les secteurs proches des bâtiments. Cela est lié au décollage très « vertical » des avions.
- Sur l'ensemble du territoire, les effets d'écran des bâtiments sont en moyenne plus importants que les effets de réflexion. Par conséquent, la densification va globalement dans le sens d'une réduction des niveaux sonores par rapport à une situation actuelle avec une densité relativement faible et donc peu d'effet d'écran et peu d'effet de réflexion.
- Différentes dispositions architecturales et urbaines permettent de limiter les effets indésirables des réflexions, tant en ce qui concerne l'implantation, la forme et la matérialité des bâtiments, qu'en ce qui concerne les choix d'aménagement, d'affectation, de typologie et de temporalité des interventions.

Le développement du GP VMA, entraîne par conséquent les constatations suivantes :

- Par rapport au cadastre OFAC, la prise en compte des bâtiments a plutôt tendance à diminuer les niveaux sonores tels qu'indiqués dans le cadastre (calculé sans les bâtiments).
- Il n'y a pas d'élément indiquant un impact négatif général des nouvelles constructions prévues dans le cadre du développement du GP VMA par rapport au bruit des avions (pas d'augmentation significative des niveaux sonores à large échelle).
- Pour certains projets présentant des risques ponctuels de réflexions multiples (bâtiment en L, en U ou avec cour intérieure …), la prise en compte de diverses recommandations permet de limiter les éventuelles réflexions.

En résumé, cette étude a permis de vérifier que la densification prévue dans le secteur GP VMA ne va pas augmenter de manière significative les nuisances sonores (de manière générale, la densification du secteur permet plutôt de diminuer les niveaux de bruit) et que, pour les situations spécifiques où une augmentation de bruit pourrait se produire (par effet de réflexion du bruit contre les nouveaux bâtiments), des mesures sont possibles afin de limiter ces effets.

Blaise Arlaud
Architecte-Acousticien SIA
Dr Sce Ing EPUN

Dimitri Magnin
Acousticien dipl. SSA
Ing. EPFL