



Acoustique Architecturale
& Bruits de l'Environnement
Robert Beffa & collaborateurs
1207 GENEVE • 4 rue de l'Avenir
Téléphone (+41) 022 786 31 77
Télécopie (+41) 022 786 32 56
contact@acouconsult.ch
TVA n° CHE - 114. 034. 247

GENÈVE
AÉROPORT

Pronostic des Immissions engendrées par le Bruit au Sol (OPB, annexe 6)

État : horizon 2022

Acoustique Architecturale & Bruit de l'Environnement

Problématique de la
Prise en compte des
composantes tonales K2

n/réf. :
Objet : Genève Aéroport
GA ANNEXE 9 – K2.v3.1

220.3113 / RB-GB
COINTRIN / GE
2021-02-08 /

1. Les composantes tonales

Beaucoup de bruits industriels sont de nature tonale (ventilateurs, pompes) et sont évalués avec des termes correctifs attachés à leur caractère spécifique.

Ces termes correctifs sont utilisés pour souligner la comparabilité entre les réponses de la collectivité à des périodes spécifiques de la journée ou de la semaine. La norme ISO 1996 recommande l'application de termes correctifs pour la soirée, la nuit et le week-end.

Il convient de n'appliquer les termes correctifs dus au caractère tonal que lorsque le bruit ambiant est audible avec un caractère tonal à l'emplacement de réception.

Une méthodologie univoque pour la détermination des corrections tonales n'est pas définie avec précision dans l'OPB. Comme ces correctifs doivent être évalués localement (au récepteurs) cette audibilité est dépendante de particularismes acoustiques propres à une localisation : notamment le bruit de fond (effet de masquage, variabilité importante, etc..).

Généralement, la fixation de ces correctifs dépend de l'appréciation de l'expert qui est en charge des études.

Plus généralement, il s'agit de savoir si les spectres de bruit caractéristiques en provenance de l'installation en cause contiennent des fréquences discrètes nettement émergentes et donc particulièrement audibles.

1.1 Rappel : Détermination du niveau d'évaluation (OPB, annexe 6)

Le niveau d'évaluation L_r se calcule à partir des niveaux d'évaluation partiels de chaque phase de bruit, soit :

$$L_r = 10 * \log(\sum_i 10^{(0.1 * L_{r,i})})$$

Le niveau d'évaluation partiel $L_{r,i}$ se calcule pour la durée moyenne journalière de la phase de bruit i comme il suit :

$$L_{r,i} = L_{eq,i} + K_{1,i} + K_{2,i} + K_{3,i} + 10 * \log(t_i/t_o)$$

Avec :

$L_{eq,i}$ niveau moyen pondéré A pendant la phase de bruit i ;

$K_{1,i}$ corrections de niveau pour la phase de bruit i ;

$K_{2,i}$ corrections de niveau pour la phase de bruit i (audibilité des composantes tonales);

La correction de niveau K_2 prend en considération l'audibilité des composantes tonales du bruit au lieu d'immission. Elle est de:

0 pour une audibilité nulle des composantes tonales;

2 pour une audibilité faible des composantes tonales;

4 pour une audibilité nette des composantes tonales;

6 pour une audibilité forte des composantes tonales.

$K_{3,i}$ corrections de niveau pour la phase de bruit i (audibilité des composantes impulsionnelles);

t_i = durée journalière moyenne de la phase de bruit i en minutes;

t_o = 720 minutes.

2. Critères justifiants un ajustement du correctif K2

La demande d'approbation de plans et de modification du règlement d'exploitation (sortie de piste 04 et mesures opérationnelles, septembre 2019) comprend une cartographie des enveloppantes VLI DSII : "Bruit Annexe 5 OPB (trafic aérien) et Bruit Annexe 6 OPB (bruit au sol)".

La publication de cette carte des immissions engendrées par le "Bruit au Sol" a suscité des commentaires de la part de l'OFEV, notamment en ce qui concerne la méthodologie pour la détermination de la correction K2 prise en compte dans les calculs (remarque formulée en se basant sur une comparaison avec l'étude similaire menée pour l'aéroport de Zurich qui, elle, prend en compte un $K2 = 0$).

De ce fait, il a été demandé d'approfondir la motivation de l'attribution d'un $K2 = 2\text{dB}$ et, le cas échéant, de formuler des propositions alternatives pour une prise en compte de ce critère relatif à l'audibilité des composantes tonales (OPB, Annexe 6, point 33² : corrections de niveau)

Pour donner suite à cette remarque, nous avons repris en détails l'analyse des observations et mesures permettant de préciser le choix initial.

L'analyse plus détaillée de l'évaluation du caractère tonal des bruits générés par les avions au roulage montre qu'il serait effectivement plus juste de différencier deux situations spécifiques pour l'application plus fine de ce correctif.

2.1 Application d'un K2 pour les trajets effectués sur les taxiways sur des secteurs libres d'importants obstacles proches.

En dépouillant des enregistrements audio effectués lors de passages des avions au roulage (analyses de spectres en bandes fines), nous avons confirmé la présence de fréquences discrètes (tonalités) clairement identifiables.

Ceci justifie l'application d'un K2.

Les bruits produits par les avions au "roulage" varient sensiblement en fonction de l'angle de vue des moteurs. Les différentes composantes fréquentielles ne sont pas identiques selon que l'on soit positionné de manière à voir l'avant ou l'arrière des réacteurs et évidemment tous les avions ne génèrent pas des bruits identiques.

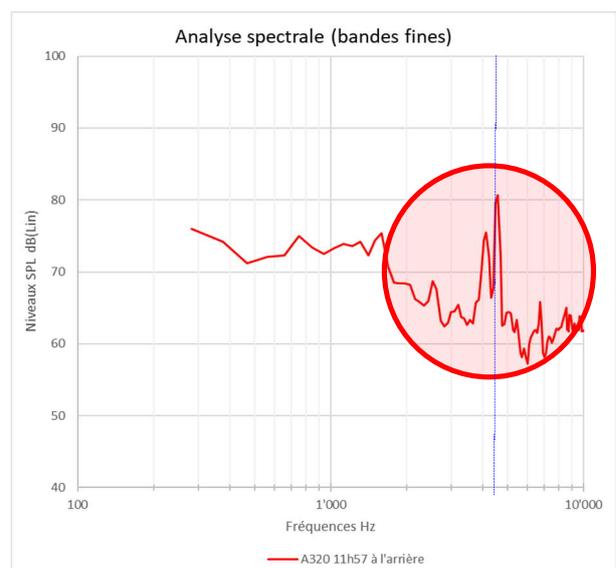
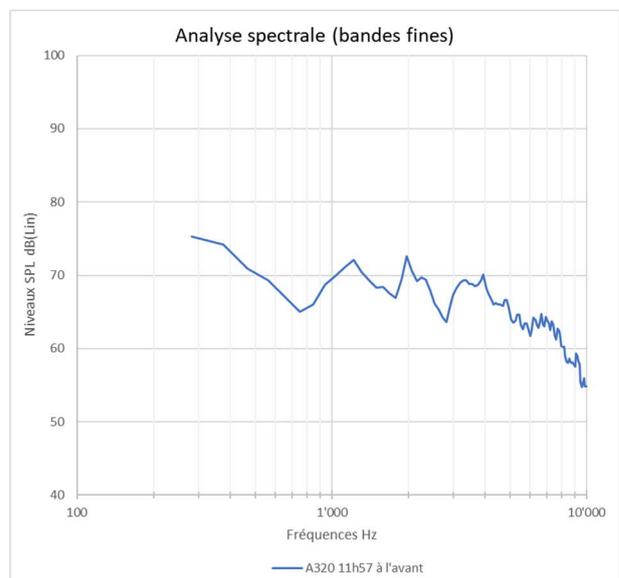
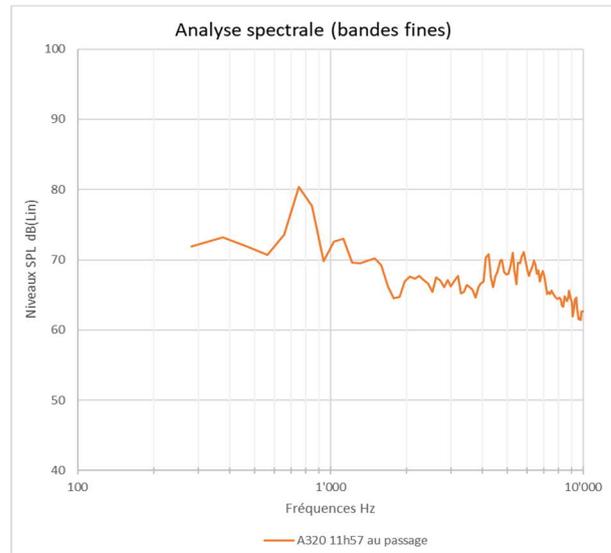
Exemple d'analyse de la variation du bruit généré par un avion lors d'un passage (mesure réalisée en champ proche).

V3.1

2.1.1 Exemple de spectres en bandes fines caractéristiques

Type d'avion: Airbus A320

- Spectre en bandes fines pour une situation où l'avion est vu en arrivant proche de l'observateur (bruit à l'avant des moteurs)
- Spectre en bandes fines pour une situation où l'avion est vu par l'observateur à la distance la plus courte transversalement par rapport au moteur (bruit au passage)
- Spectre en bandes fines pour une situation où l'avion est vu en s'éloignant de l'observateur (bruit à l'arrière des moteurs)



En effectuant ce type d'analyse sur plusieurs types d'avions (A319, A320, A333, B737, CRG9), on constate que les observations effectuées montrent toutes la présence de fréquences discrètes nettement audibles à courte distance, mais ces fréquences sont différentes pour chaque cas. Ce qui est le plus perceptible reste l'aspect variable de ces fréquences en fonction de l'angle de vue des moteurs (fréquences tonales généralement émises entre 3000 Hz et 5500 Hz).

Remarque :

Plusieurs paramètres influencent particulièrement la propagation de ces fréquences aussi élevées, notamment: l'absorption moléculaire de l'air, la présence d'obstacles, les conditions météorologiques (le sens du vent).

Plus on s'éloigne de la source de bruit, plus la perception de ces tonalités se réduit par rapport au bruit observé dans sa globalité.

Lors des observations effectuées de nuit, ces variations de tonalité sont audibles particulièrement quand les avions changent de direction (typiquement lors des accès et sorties de piste). En pondérant ce critère du fait qu'il n'est de loin pas audible de manière permanente.

Il se confirme que ce paramètre pris en compte dans la modélisation du bruit au sol justifie une correction de niveau K2 de 2dB (audibilité faible des composantes tonales) pour les habitations des secteurs situées au maximum à une distance de l'ordre de 300m à 500m, sans obstacles et proches des taxiway.

3. Propositions pour la suppression du K2 général

Pour les trajets effectués sur le tarmac dans des secteurs comportant d'importants obstacles (bâtiments implantés au sud du site aéroportuaire).

Les observations effectuées dans les zones construites au sud de l'aéroport (quartier du Jonc, chemin de Préjins, ...) ne permettent effectivement pas l'identification de fréquences discrètes (tonalités). La densité ainsi que les positions variées des avions (en position ou qui effectuent des trajets) ne permettent pas de distinguer ce type de caractéristiques et, de plus, le bruit produit par l'autoroute toute proche crée un effet de masquage important.

Dans ce quartier, la perception de tonalité engendrée par le bruit au sol n'est pas observable.

En conséquence, il semble correct de supprimer localement le correctif K2 pris en compte pour ce secteur dans la modélisation initiale. Cette modification complexifie toutefois les calculs des contributions du bruit des trajets des avions.

A ce stade il s'est agi de vérifier l'incidence de cet ajustement sur l'application de l'OPB, notamment en ce qui concerne les dépassements des VLI DSII pour ce quartier spécifiquement.

3.1 Évaluation de l'incidence du mode de prise en compte du correctif pour les composantes tonales K2

L'état actuellement publié pour la demande d'approbation de plans et de modification du règlement d'exploitation (sortie de piste 04 et mesures opérationnelles, septembre 2019) Comprend une cartographie des enveloppantes VLI DSII : "Bruit Annexe 5 OPB (trafic aérien) et Bruit Annexe 6 OPB (bruit au sol)".

La zone dessinée en "brun" : Bruit Annexe 6 OPB (enveloppante jour/ nuit VLI DSII) a été calculée en attribuant un correctif K2 = 2dB par simplification, pour l'ensemble du bruit émis par les trajets des avions (accès aux positions et sur les taxiways).

Pour pouvoir comparer la carte relative à la situation publiée en 2019 avec les autres cartes calculées pour l'étude des propositions alternatives demandées, nous avons effectué un nouveau calcul de la situation publiée (Valeurs Lr,nuit pour la situation strictement identique en ce qui

V3.1

concerne l'ensemble des paramètres sauf en ce qui concerne le maillage qui est de 10m à la place de 25m) ceci pour pouvoir comparer avec plus de précision les différentes situations. De plus, il a été reporté les surfaces (en beige) et les adresses (points rouges) calculées en dépassement des VLI DSII (carte annexe 1). Une analyse plus fine des conséquences de cette simplification a été demandée, notamment en ce qui concerne l'effet de ce K2 pour des localisations très éloignées ou bénéficiant d'effets d'obstacle important. Deux hypothèses ont alors été formulées :

3.1.1 Variante A : Attribution du correctif K2 pour des parties de territoires définies géographiquement

- Suppression du K2 global initialement pris en compte dans les calculs.
- Définition de deux périmètres définis en fonction de la localisation où le correctif K2 = +2 dB s'applique. Attribution pour deux "zones en bout de piste" d'un correctif K2 = 2 dB (environ 2 rangs de bâtiments en vue directe de la piste) pour tenir compte des variations des fréquences discrètes constatées dans les spectres perçus.

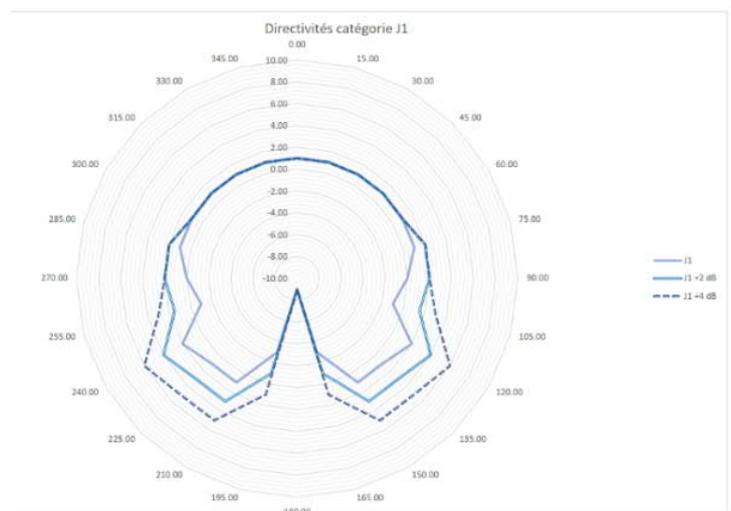
3.1.2 Variantes B et B' : Attribution du correctif K2 sous la forme d'une modification de la directivité prise en compte pour les calculs dans les secteurs où les avions changent de direction

- Suppression du K2 global initialement pris en compte dans les calculs.
- Modification de la directivité à l'émission par l'ajout de 2dB dans la direction du maximum de bruit émis (variante B' > + 4 dB).

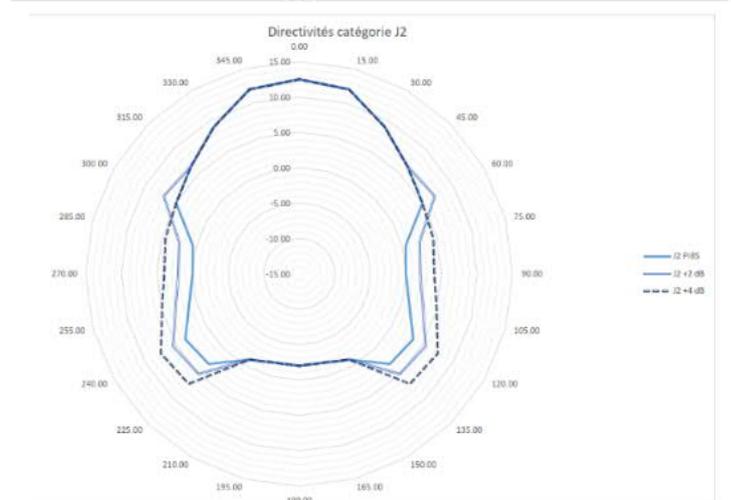
1.1.1.1. Modification des directivités prisent en compte

Les directivités ont été modifiées pour les deux catégories d'avions contribuant très majoritairement au bruit au sol (classement J1 et J2).

Polaire à l'émission pour la catégorie J1



Polaire à l'émission pour la catégorie J2



V3.1

3.2 Analyse effectuée en se basant sur le nombre de points de réceptions calculés

Dans un premier temps, cette analyse a été effectuée sur la base du nombre de récepteurs calculés (placés selon une répartition représentative mais pas exhaustive). Ils ne permettent pas précisément de quantifier le nombre d'habitations concernées par le mode d'attribution du correctif K2 mais ils permettent de chiffrer précisément les variations en dB pour chaque récepteur calculé (voir la récapitulation des résultats sous la forme d'une liste jointe au dossier).

Le décompte des "points récepteurs" calculés en dépassement des VLI (DSII et DSIII) était initialement de 37 unités réparties sur le territoire (ce qui ne correspond pas au décompte exhaustif des villas concernées).

Pour la variante A, le décompte des "points récepteurs" calculés en dépassement des VLI (DSII et DSIII) se réduit à 24 unités; la différence est de -13 unités calculées par rapport à la situation initiale, soit -35%).

Pour la variante B, Le décompte des "points récepteurs" calculés en dépassement des VLI (DSII et DSIII) se réduit à 21 unité; la différence est de -16 unités calculées par rapport à la situation initiale, soit -43%) .

Pour la variante B', Le décompte des "points récepteurs" calculés en dépassement des VLI (DSII et DSIII) se réduit à 22 unité; la différence est de -15 unités calculées par rapport à la situation initiale, soit -41%) .

3.3 Analyse effectuée en exploitant les données géolocalisées

Par la suite, pour évaluer plus précisément le nombre d'habitations nous avons procédé à une variante effectuée à partir des données géolocalisées disponibles. Nous avons intersecté les zones de bruit en dépassement des VLI avec les points géoréférencés des adresses (données disponibles sur le SITG).

Cette démarche permet une évaluation quantitative plutôt maximaliste car elle ne tient pas compte des conditions d'éligibilité exigées pour l'obtention des assainissements.

Décompte des adresses en dépassement		Dépassements VLI	Nombre d'adresses	Incidences
Référence	Rendu 219'2900, cartes publiées pour la consultation publique			Décompte de référence
		total	460	100%
		en DSII	441	95.9%
		en DSIII	19	4.1%
Variante A	K2 sur les zones en bout de taxiway (départs sens 22 et 04)			Incidence
	Nombre d'adresse en dépassements (DSIV + DSIII + DSII)		294	-36.1%
		en DSII	278	-37.0%
		en DSIII	16	-15.8%
Variante B	K2 = 2 sur la directivité J1 et J2			Incidence
	Nombre d'adresse en dépassements (DSIV + DSIII + DSII)		288	-37.4%
		en DSII	274	-37.9%
		en DSIII	14	-26.3%
Variante B'	K2 = 4 sur la directivité J1 et J2			Incidence
	Nombre d'adresse en dépassements (DSIV + DSIII + DSII)		317	-31.1%
		en DSII	303	-31.3%
		en DSIII	14	-26.3%

3.4 Commentaires

- Appréciation globale

Les différences entre l'évaluation des dépassements des VLI (méthode utilisée initialement pour l'analyse des résultats voir point 3.2) et celle nouvellement présentée au point 3.3 (analyse plus fine basée sur des données d'adresses SITG) traduisent la non-homogénéité de la répartition des récepteurs initialement calculés (effet d'une irrégularité de la densité découlant de la localisation des points récepteurs).

Les deux méthodes produisent cependant des résultats plutôt cohérents, pour la variante A la variation de l'incidence calculée plus finement est de -35% à -36% et elle est plus importante pour la variante B (-43% à -37%) ainsi que pour la variante B' (-41% à -31%).

Géographiquement ces différences sont localisées principalement dans le quartier " des Joncs" et celui du "chemin des Préjins".

A ce stade, l'évaluation effectuée à partir des adresses incluses dans les zones de bruit en dépassement semble plus représentative. Partant de cette hypothèse, les commentaires suivants semblent les plus pertinents.

- Variante A détermination d'un K2 par zonage (carte des adresses en dépassement, annexe 1)

Ce type de détermination est celui décrit par les normes ISO, c'est aussi une méthode qui a été employée par les CFF pour traiter les évaluations du bruit des manœuvres ferroviaires pour les zones proches de la gare marchandises de la Praille (voir études liées au CEVA).

Qualités, avantages :

- Conformité aux normes internationales ISO,
- Consiste en un ajustement de la méthodologie employée pour l'élaboration de l'état actuellement publié pour la demande d'approbation de plans et de modification du règlement d'exploitation (sortie de piste 04 et mesures opérationnelles, septembre 2019)

Limites, difficultés, inconvénients :

- Nécessite une délimitation géométrique précise des bâtiments concernés (1er et 2ème rang, sans obstacle),
- Implémentation plus complexe nécessitant à la fois la modélisation acoustique (IMMI) et par la suite un traitement à effectuer sur la base de données géoréférencées (ARC GIS).

- Variante B et B' détermination d'un K2 par modification de la directivité à l'émission (carte des adresses en dépassement, annexes 2 et 3)

Ce type de détermination produit des résultats avec passablement de similitude par rapport aux résultats obtenus par les calculs effectués selon la variante A. Toutefois, il entraîne des effets différents quant à la répartition du bruit sur le territoire.

Les Lr calculés sont un peu inférieurs pour les bâtiments proches des sources de bruit, mais simultanément un peu plus élevé pour les situations plus éloignées (un ajustement de la puissance acoustique pourrait en partie corriger ce particularisme).

Qualités, avantages :

- Pratique plus simple à implémenter dans la modélisation.

Limites, difficultés, inconvénients :

- Suppression due la correction K2 au lieu des immissions, de ce fait cette méthodologie s'écarte de celle prise en compte pour la détermination de l'état publié lors de la demande d'approbation de plans et de modification du règlement d'exploitation (sortie de piste 04 et mesures opérationnelles, septembre 2019) Comprend une cartographie des enveloppantes VLI DSII : "Bruit Annexe 5 OPB (trafic aérien) et Bruit Annexe 6 OPB (bruit au sol)".
- Ne correspond pas exactement aux directives des normes ISO.
- Modifie dans la forme l'état actuellement publié pour la demande d'approbation de plans et de modification du règlement d'exploitation.

4. Conclusion

- Les trois propositions d'améliorations pour l'attribution d'un K2 ont une incidence assez similaire en ce qui concerne l'aménagement du territoire concerné.
- La correction proposée génère une modification par rapport à l'état initialement publié qui me semble justifiable et approprié (meilleure prise en compte de la spécificité des variations spectrales pour une faible complication de la modélisation).
- L'effet est sensible sur la détermination du nombre de dépassements des VLI.

Annexe 1. Variante de référence 2019 (K2 global) carte des adresses en dépassement des VLI

GENEVE AÉROPORT

Calcul du Bruit au Sol (OPB Annexe 6)

Situation : NUIT

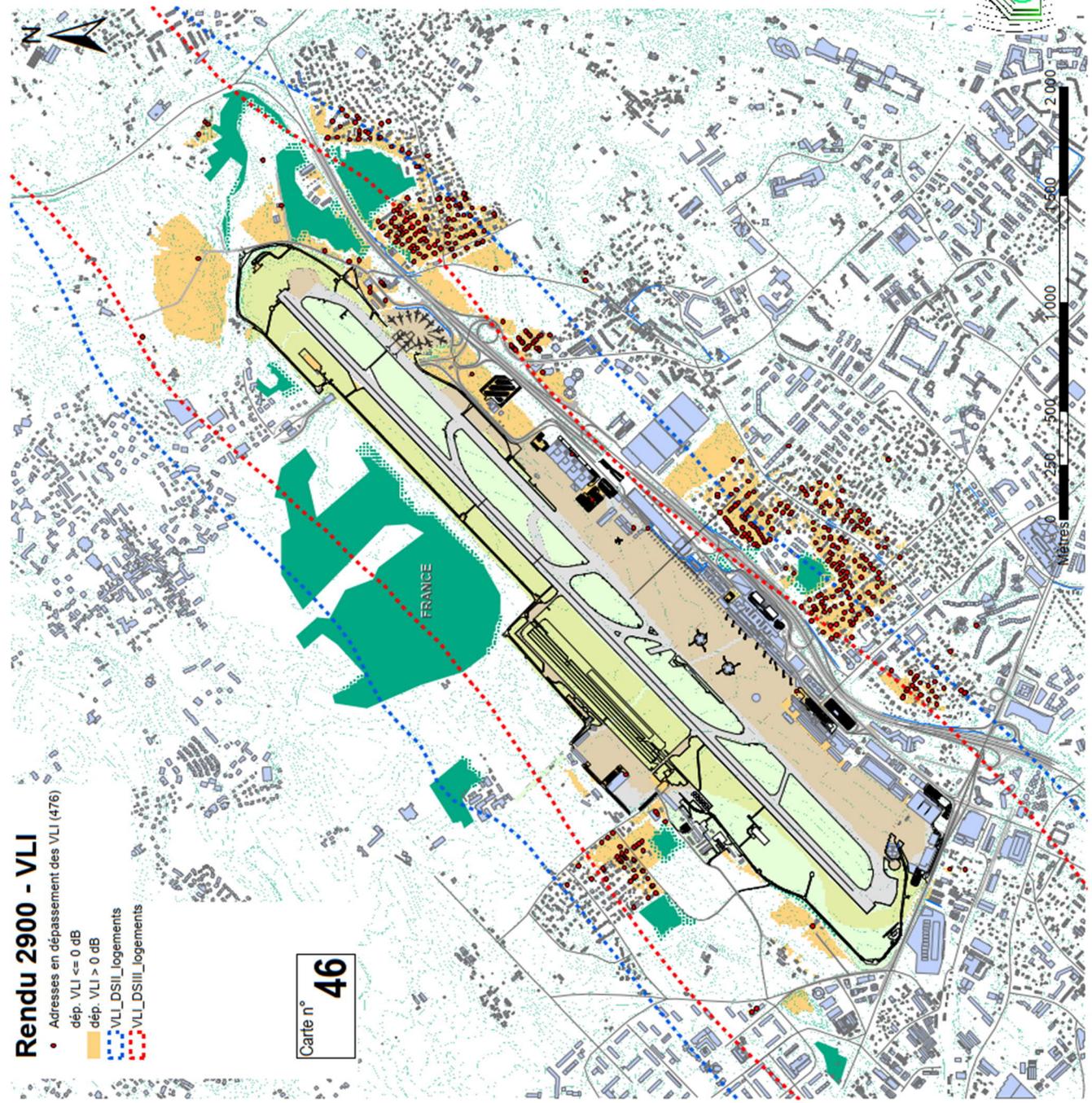
Lr Global :
Trafic / Positions
Attentes / Essais Moteurs
Trafic Véhicules
Parkings / CVC

Horizon 2022
Repérage des adresses en dépassement des VLI (x476)

Modélisation : RB/GB
Date du calcul : 15/01/2021
Date du tirage : 19/01/2021
220'3113.V0

Hauteur relative de la grille : 4m

@couConsult 4, rue de l'avenir - 1207 GENEVE
Téléphone : (+41) 022 786 31 77
Mail : contact@acouconsult.ch



V3.1

Annexe 2. Variante A (K2 par zonage) carte des adresses en dépassement des VLI

GENEVE
AÉROPORT
Calcul du Bruit au Sol
(OPB Annexe 6)

Situation : NUIT

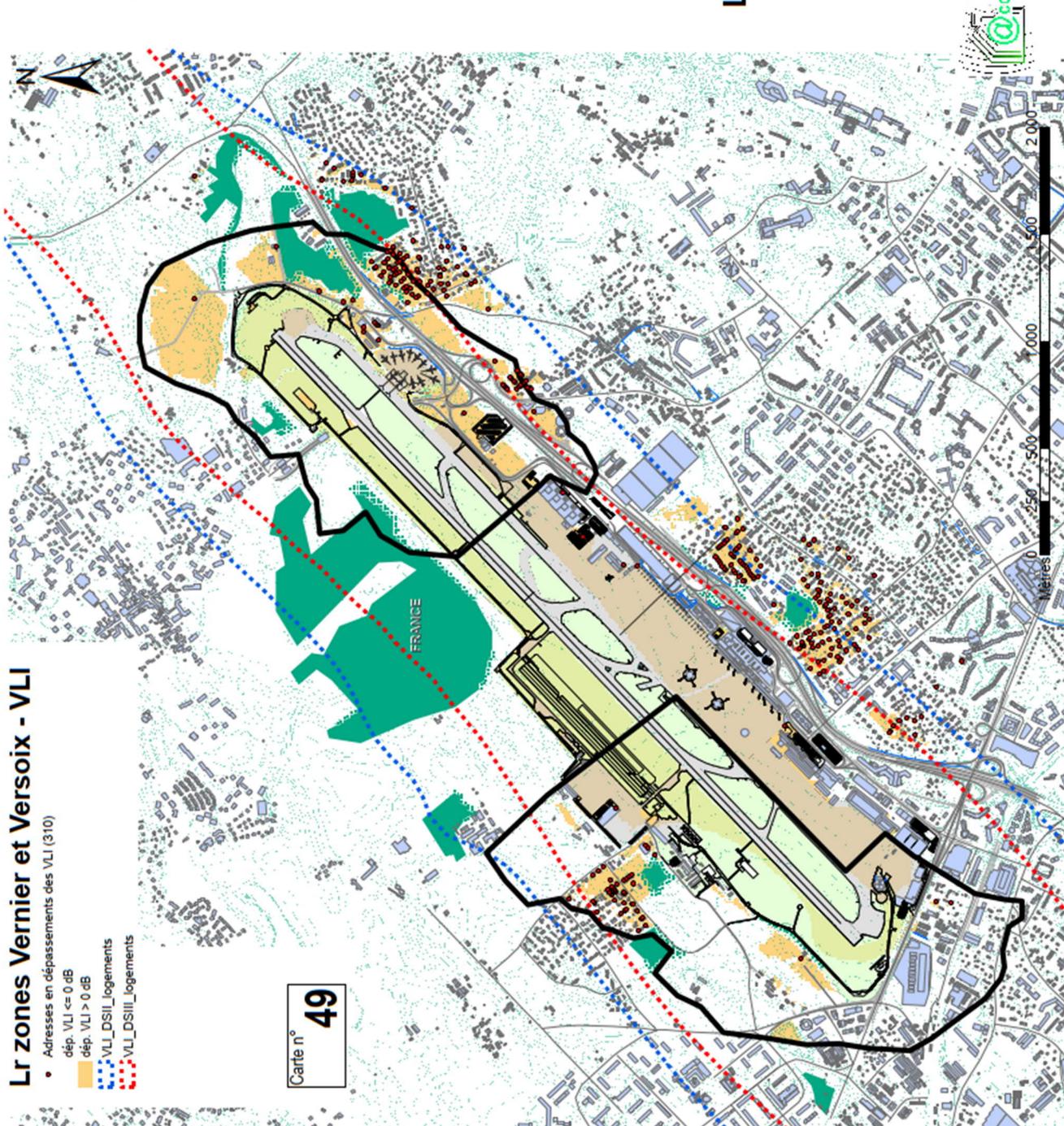
Lr Global :
Trafic / Positions
Attentes / Essais Moteurs
Trafic Véhicules
Parkings / CVC

Horizon 2022
Repérage des adresses
en dépassement
des VLI (x310)
Lr Vernier / Versoix - VLI

Modélisation : RB/GB
Date du calcul : 06/01/2021
Date du tirage : 19/01/2021
220'3113.V0

Hauteur relative de la grille : 4m

@couConsult 4, rue de l'avenir - 1207 GENEVE
Téléphone : (+41) 022 786 31 77
Mail : contact@acouconsult.ch



V3.1

Annexe 3. Variante B (K2 par modification de la directivité + 2dB sur max.) carte des adresses en dépassement des VLI

GENEVE AÉROPORT

Calcul du Bruit au Sol (OPB Annexe 6)

Situation : NUIT

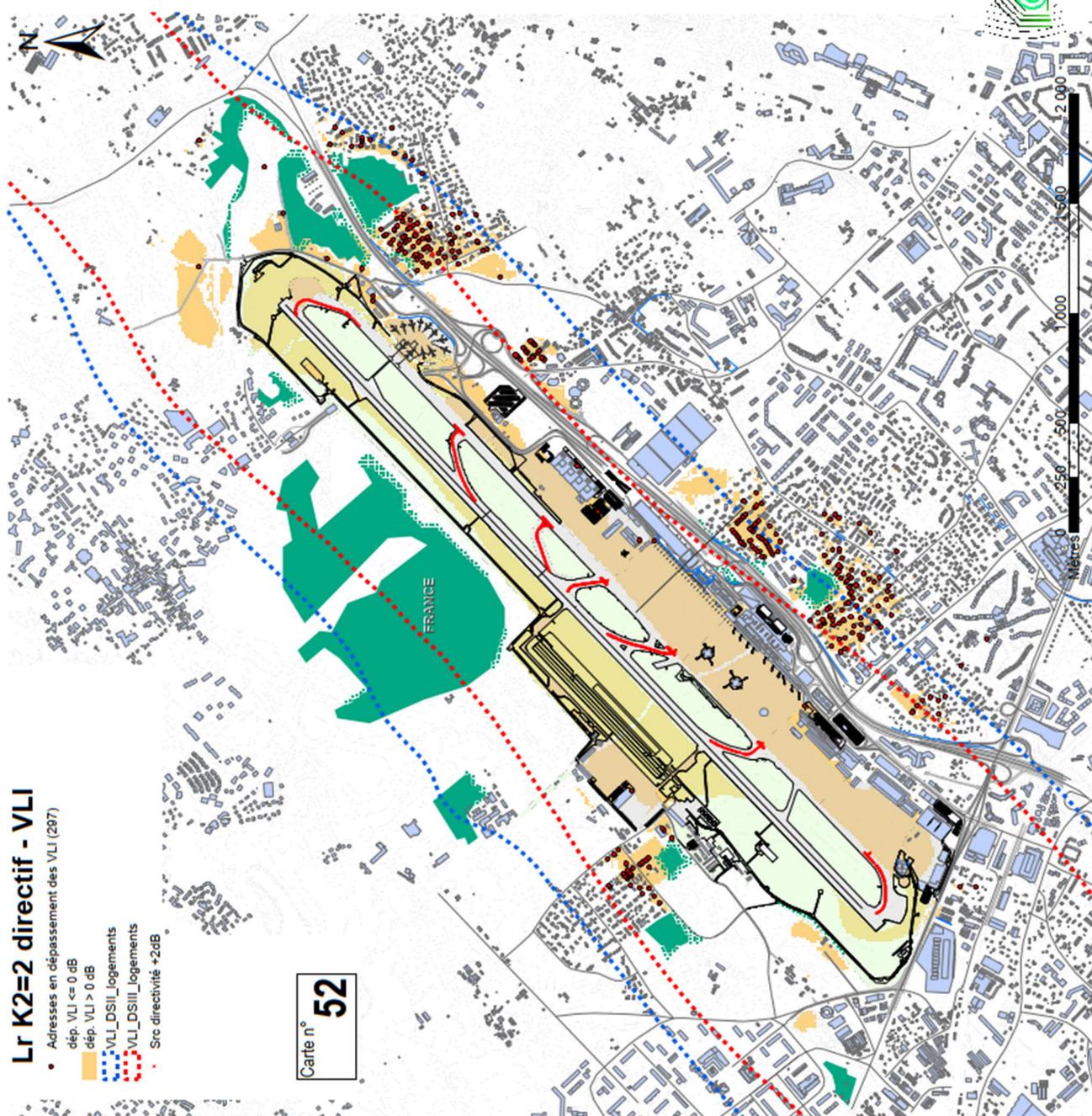
Lr Global :
 Trafic / Positions
 Attentes / Essais Moteurs
 Trafic Véhicules
 Parkings / CVC

Horizon 2022
 Repérage des adresses
 en dépassement
 des VLI (x297)
 Lr K2=2 directif - VLI

Modélisation : RB/IGB
 Date du calcul : 06/01/2021
 Date du tirage : 19/01/2021
 220'3113.V0

Hauteur relative de la grille : 4m

@couConsult 4, rue de l'avenir - 1207 GENEVE
 Téléphone : (+41) 022 786 31 77
 Mail : contact@acouconsult.ch



V3.1

Annexe 4. Variante B' (K2 par modification de la directivité + 4dB sur max.) carte des adresses en dépassement des VLI

