



ENVISA

AVIATION & ENVIRONMENT SOLUTIONS

**ÉTUDE DÉFINITIVE RELATIVE AUX INCIDENCES DE L'EXPLOITATION DE
L'AÉROPORT DE BRUXELLES-NATIONAL SUR L'ENVIRONNEMENT,
POUR CE QUI CONCERNE LES NUISANCES SONORES**

Chapitre 3 : Nouvelle cartographie et scénarios alternatifs

(Addendum 2022)

Préparé pour :
Service Public Fédéral
Mobilité et Transports

Par **ENVISA** (Paris)
www.env-isa.com

Version 3.2
30 mai 2022

Ted Elliff - Coordinateur
Tel : +33 1 71 19 45 80
Courriel : ted.elliff@env-isa.com

Table des matières

Résumé Non Technique.....	13
Contexte.....	13
Aperçu de chaque chapitre.....	14
Conclusions et Recommandations	15
1 Introduction	18
1.1 Contexte.....	18
1.2 Contenu et structure du rapport.....	19
1.3 Les limites de la modélisation : le facteur humain	20
2 Propositions des parties judiciaires.....	21
3 Réponses aux commentaires des parties judiciaires	24
3.1 Communes du Canal.....	24
3.2 Communes au Sud de l'aéroport : Woluwe-Saint-Pierre, Kraainem et Wezembeek-Oppem.....	25
3.3 Etat belge.....	29
3.4 Région de Bruxelles-Capitale.....	35
3.5 Région Flamande.....	35
4 Explications sur les pratiques opérationnelles et leur impact.....	37
4.1 Le vent, le choix des pistes et le PRS	37
4.2 Réponse à une éventuelle évolution des normes de vent.....	67
4.3 Les procédures d'approche.....	69
4.4 Les risques d'accident et l'importance de la prise en compte du vent pour les approches	71
4.5 Les procédures de départ	75
4.6 PBN – Performance Based Navigation.....	80
4.7 Dispersion des trajectoires	89
5 Les différentes métriques pour mesurer le bruit.....	94
5.1 La pondération 'A'.....	94
5.2 Le niveau sonore maximal - LA_{max}	95
5.3 Le niveau d'exposition sonore - SEL.....	96
5.4 Le niveau sonore équivalent - LA_{eq}	97
5.5 Les indicateurs cumulatifs L_{day} , $L_{evening}$, L_{night} et L_{den}	98

6	Comparaison entre les valeurs de bruit mesurées et les valeurs quantifiées.....	102
6.1	Comparaison des valeurs mesurées par un même sonomètre pour des vols avec les mêmes caractéristiques – 2019.....	102
6.2	Comparaison entre mesures et quantifications - 2019.....	109
6.3	Comparaison entre mesures et quantifications – 2017.....	124
7	Scénarios	126
7.1	Scénario 0 : Base 2019.....	126
7.2	Scénario 1a1 : Les départs depuis la piste 25R avec virage gauche sont déplacés sur la piste 25L, à hauteur de 50% et 100%, avec un virage à 1700 ft.....	139
7.3	Scénario 1a2 : Les départs depuis la piste 25R avec virage gauche sont déplacés sur la piste 25L, à hauteur de 50% et 100%, avec un virage à 700 ft.....	153
7.4	Scénario 1b1 : Les départs depuis la piste 25R avec virage gauche sont déplacés sur la piste 25L étendue de 900 m (0,5 NM), à hauteur de 50% et 100%, avec un virage à 1700 ft.....	166
7.5	Scénario 1b2 : Les départs depuis la piste 25R avec virage gauche sont déplacés sur la piste 25L étendue de 900 m (0,5 NM), à hauteur de 50% et 100%, avec un virage à 700 ft.....	178
7.6	Scénario 2a : Extension de la nuit opérationnelle de 06h00 à 07h00.....	190
7.7	Scénario 2b : Extension de la nuit opérationnelle de 06h00 à 07h00 et limite de 16 000 mouvements la nuit	196
7.8	Scénario 2c : Suppression des vols de nuit.....	202
7.9	Scénario 3 : la dispersion autour des trajectoires est réduite (moins de vectoring) en utilisant dans la modélisation seulement 2 sous trajectoires (2 subtracks)	206
7.10	Scénario 4 : la dispersion autour des trajectoires est réduite (moins de vectoring) en utilisant dans la modélisation seulement les trajectoires principales (backbone tracks).....	212
7.11	Scénario 5 : Décollage de la piste 25R depuis le seuil physique de la piste.....	218
7.12	Scénario 6 : Modernisation de la flotte	227
7.13	Scénario 7 : Suppression des vols cargo.....	235
7.14	Scénario 8a : Nouvelles procédures d’approche pour les pistes 07L/R.....	242
7.15	Scénario 8b : Nouvelles procédures d’approche pour les pistes 07L/R et augmentation de l’angle de descente pour les approches sur les pistes 07L/R et 01, sans changement de proportion de mouvements	254
7.16	Scénario 8c : Nouvelles procédures d’approche pour les pistes 07L/R et augmentation de l’angle de descente pour les approches sur les pistes 07L/R et 01, avec changement de proportion de mouvements	262
7.17	Scénario 9 : Nouvelles trajectoires proposées pour les départs sur la piste 25R.....	270
8	Résumé des observations sur les résultats des scénarios	280
8.1	Scénario 1.....	280

8.2	Scénario 2	280
8.3	Scénario 3	280
8.4	Scénario 4	280
8.5	Scénario 5	280
8.6	Scénario 6	280
8.7	Scénario 7	280
8.8	Scénario 8	281
8.9	Scénario 9	281
Glossaire	282
Remerciements	284
Annexe A	Propositions des parties judiciaires en détail	285
Annexe B	Chiffres des scénarios sur la population exposée - Détails.....	286
Annexe C	SID PITES 2G	287

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Traces des départs suivant la route du Canal.....	24
Figure 2 : Rose des vents 2018, source : batc.be.....	26
Figure 3 : Rose des vents 2019, source : batc.be.....	26
Figure 4 : Extrait de l'AIP de Brussels-National concernant le choix de la piste.....	27
Figure 5 : Stations de mesure de Bruxelles-Environnement utilisées pour le constat des infractions.....	28
Figure 6 : Mouvements aéroportuaires par mois en 2019, source : batc.be.....	28
Figure 7 : Contours Lden 55 dB de la base 2019 (orange) et de la période de travaux sur la balise BUB (bleu) 31	
Figure 8 : Contours Lden 55 dB et traces des départs avec virage gauche de la base 2019 (jaune) et de la période de travaux sur la balise BUB (bleu)	32
Figure 9 : Noise Abatement Departure Procedure dans l'AIP de BRU	33
Figure 10 : Procédures standard, ICAO A et ICAO B dans le logiciel de modélisation AEDT.....	34
Figure 11 : Décomposition des vecteurs de vent.....	38
Figure 12 : Trajectoire air et trajectoire sol.....	39
Figure 13 : Composantes de vent sur piste – Vent de face.....	40
Figure 14 : Composantes de vent sur piste – Vent arrière	41
Figure 15 : Emplacements des anémomètres pour la mesure du vent.....	43
Figure 16 : Rose des vents pour 2018.....	56
Figure 17 : Rose des vents pour 2019.....	56
Figure 18 : Rose des vents pour 2020.....	57
Figure 19 : Rose des vents pour 2021.....	57
Figure 20 : Pourcentage des mouvements PRS par mois en 2018 – Source : www.batc.be	58
Figure 21 : Pourcentage de temps PRS par mois en 2018 – Source : www.batc.be.....	58
Figure 22 : Nombre de mouvements par piste par mois en 2018 – Source : www.batc.be.....	59
Figure 23 : Pourcentage d'utilisation des configurations de pistes en 2018 – Source : www.batc.be.....	59
Figure 24 : Pourcentage de temps passé sur chaque configuration de pistes en 2018 – Source : www.batc.be.....	60
Figure 25 : Raisons de l'utilisation de pistes alternatives en 2018 – Source : www.batc.be.....	60
Figure 26 : Pourcentage des mouvements PRS par mois en 2019 – Source : www.batc.be.....	61
Figure 27 : Pourcentage de temps PRS par mois en 2019 – Source : www.batc.be.....	61
Figure 28 : Nombre de mouvements par piste par mois en 2019 – Source : www.batc.be.....	62
Figure 29 : Pourcentage d'utilisation des configurations de pistes en 2019 – Source : www.batc.be.....	62
Figure 30 : Pourcentage de temps passé sur chaque configuration de pistes en 2019 – Source : www.batc.be.....	63
Figure 31 : Raisons de l'utilisation de pistes alternatives en 2019 – Source : www.batc.be.....	63
Figure 32 : Accidents et incidents graves par phase de vol impliquant les compagnies de transport commerciales et les avions-taxis.....	72
Figure 33 : Accidents par phase de vol - 2008-2020 - données de l'OACI - Aéronefs au-dessus de 2,25 tonnes	72
Figure 34 : Départs PITES 2G en 2019	76
Figure 35 : La procédure PITES 2G dans la SID.....	77
Figure 36 : Route CIV 2D sur la procédure de départ	78
Figure 37 : Communes survolées par la route du Canal	79
Figure 38 : Evolution de l'utilisation de l'espace aérien.....	82
Figure 39 : Différences de navigation entre RNAV et RNP	86
Figure 40 : Extrait d'une carte de procédure de départ RNAV1.....	90
Figure 41 : Fly-by et Flyover	91

Figure 42 : Exemple montrant la largeur du couloir possible pour la route du Canal.....	92
Figure 43 : Niveaux sonores de certains évènements avec la pondération 'A'	95
Figure 44 : Représentation visuelle du SEL.....	97
Figure 45 : Représentation visuelle de l'indicateur LA_{eq}	98
Figure 46 : Représentation visuelle des pénalités pour la métrique L_{den}	100
Figure 47 : Comparaison des traces de 2 vols similaires au départ de la piste 25R.....	103
Figure 48 : Comparaison des traces de 2 vols similaires arrivant sur la piste 25L	104
Figure 49 : Carte des sonomètres de l'aéroport et de Bruxelles-Environnement	110
Figure 50 : Nombre d'évènements au-dessus de 60db pour un seul récepteur sur l'année 2019	113
Figure 51 : Backbone tracks et subtracks – départs piste 25R.....	127
Figure 52 : Base 2019, métrique L_{den}	129
Figure 53 : Comparaison entre la base et les données radar originales pour 2019, métrique L_{den}	129
Figure 54 : Base 2019, métrique L_{night}	131
Figure 55 : Comparaison entre la base et les données radar originales pour 2019, métrique L_{night}	131
Figure 56 : Base 2019, métrique N60 day+evening	133
Figure 57 : Base 2019, métrique N60 night.....	135
Figure 58 : Base 2019, métrique N70 day+evening	136
Figure 59 : Base 2019, métrique N70 night.....	137
Figure 60 : Seuil de piste 25L et taxiway.....	139
Figure 61 : Schéma de la piste 25L, adaptée pour les arrivées, extrait de l'AIP belge	140
Figure 62 : Schéma de la piste 25L avec traces des avions en jaune, extrait de l'AIP belge.....	140
Figure 63 : Backbone tracks obtenues pour les départs sur la piste 25R et contour L_{den} 55 dB	141
Figure 64 : Traces radar pour les départs de la piste 25L en 2019.....	142
Figure 65 : Backbone tracks et subtracks de la piste 25R déplacées sur la 25L.....	142
Figure 66 : Backbone track et subtracks déplacées (en jaune) vs celles obtenues à partir des données radar des départs sur la piste 25L en 2019 (en rouge)	143
Figure 67 : Scénario 1a1.50, L_{den}	144
Figure 68 : Différence Scénario 1a1.50 L_{den} par rapport au contour L_{den} 55 dB de la base.....	144
Figure 69 : Scénario 1a1.50, L_{night}	145
Figure 70 : Différence Scénario 1a1.50 L_{night} par rapport au contour L_{night} 45 dB de la base.....	145
Figure 71 : Scénario 1a1.50, N70 night	146
Figure 72 : Différence Scénario 1a1.50 N70 night par rapport au contour N70 night 1x de la base.....	146
Figure 73 : Scénario 1a1.100%, L_{den}	147
Figure 74 : Différence Scénario 1a1.100 L_{den} par rapport au contour L_{den} 55 dB de la base.....	147
Figure 75 : Scénario 1a1.100, L_{night}	148
Figure 76 : Différence Scénario 1a1.100 L_{night} par rapport au contour L_{night} 45 dB de la base	148
Figure 77 : Scénario 1a1.100, N70 night.....	149
Figure 78 : Différence Scénario 1a1.100 N70 night par rapport au contour N70 night 1x de la base	149
Figure 79 : Procédures de départ uniques à la piste 25L.....	154
Figure 80 : Backbone track et subtracks de la piste 25R avec les altitudes pour un virage à 1700 ft.....	155
Figure 81 : Backbone track et subtracks déplacées sur la piste 25L avec les altitudes pour un virage à 700 ft	156
Figure 82 : Scénario 1a2.50, L_{den}	157
Figure 83 : Différence Scénario 1a2.50 L_{den} par rapport au contour L_{den} 55 dB de la base.....	157
Figure 84 : Scénario 1a2.50, L_{night}	158
Figure 85 : Différence Scénario 1a2.50 L_{night} par rapport au contour L_{night} 45 dB de la base.....	158
Figure 86 : Scénario 1a2.50, N70 night	159
Figure 87 : Différence Scénario 1a2.50 N70 night par rapport au contour N70 night 1x de la base.....	159
Figure 88 : Scénario 1a2.100, L_{den}	160

Figure 89 : Différence Scénario 1a2.100 Lden par rapport au contour Lden 55 dB de la base	160
Figure 90 : Scénario 1a2.100, Lnight	161
Figure 91 : Différence Scénario 1a2.100 Lnight par rapport au contour Lnight 45 dB de la base	161
Figure 92 : Scénario 1a2.100, N70 night.....	162
Figure 93 : Différence Scénario 1a2.100 N70 night par rapport au contour N70 night 1x de la base	162
Figure 94 : Vue schématique de l'extension de la piste (pas à l'échelle).....	166
Figure 95 : Zone de prolongement de la piste de 900 mètres vers l'Est	167
Figure 96 : Déplacement des backbone track et subtracks avec l'extension de la piste de 900 m vers l'Est	168
Figure 97 : Nouvelles backbone track et subtracks avec l'extension de la piste de 900 m vers l'Est.....	168
Figure 98 : Scénario 1b1.50, Lden	169
Figure 99 : Différence Scénario 1b1.50 Lden par rapport au contour Lden 55 dB de la base	169
Figure 100 : Scénario 1b1.50, Lnight.....	170
Figure 101 : Différence Scénario 1b1.50 Lnight par rapport au contour Lnight 45 dB de la base.....	170
Figure 102 : Scénario 1b1.50, N70 night	171
Figure 103 : Différence Scénario 1b1.50 N70 night par rapport au contour N70 night 1x de la base.....	171
Figure 104 : Scénario 1b1.100, Lden	172
Figure 105 : Différence Scénario 1b1.100 Lden par rapport au contour Lden 55 dB de la base	172
Figure 106 : Scénario 1b1.100, Lnight.....	173
Figure 107 : Différence Scénario 1b1.100 Lnight par rapport au contour Lnight 45 dB de la base	173
Figure 108 : Scénario 1b1.100, N70 night.....	174
Figure 109 : Différence Scénario 1b1.100 N70 night par rapport au contour N70 night 1x de la base	174
Figure 110 : Backbone track et subtracks pour les départs de la piste 25L avec un virage gauche à 700 ft déplacés de 900 m vers l'Est.....	179
Figure 111 : Scénario 1b2.50, Lden.....	180
Figure 112 : Différence scénario 1b2.50 Lden par rapport au contour Lden 55 dB de la base	180
Figure 113 : Scénario 1b2.50, Lnight.....	181
Figure 114 : Différence Scénario 1b2.50 Lnight par rapport au contour Lnight 45 dB de la base.....	181
Figure 115 : Scénario 1b2.50, N70 night	182
Figure 116 : Différence Scénario 1b2.50 N70 night par rapport au contour N70 night 1x de la base.....	182
Figure 117 : Scénario 1b2.100, Lden	183
Figure 118 : <i>Différence scénario 1b2.100 Lden par rapport au contour Lden 55 dB de la base.....</i>	183
Figure 119 : Scénario 1b2.100, Lnight.....	184
Figure 120 : Différence Scénario 1b2.100 Lnight par rapport au contour Lnight 45 dB de la base	184
Figure 121 : Scénario 1b2.100, N70 night.....	185
Figure 122 : Différence Scénario 1b2.100 N70 night par rapport au contour N70 night 1x de la base	185
Figure 123 : Scénario 2a, Lden.....	192
Figure 124 : Différence scénario 2a Lden par rapport au contour Lden 55 dB de la base	192
Figure 125 : Scénario 2a, Lden.....	193
Figure 126 : Différence Scénario 2a Lnight par rapport au contour Lnight 45 dB de la base.....	193
Figure 127 : Scénario 2a, N70 night	194
Figure 128 : Différence Scénario 2a N70 night par rapport au contour N70 night 1x de la base.....	194
Figure 129 : Scénario 2b, Lden	197
Figure 130 : Différence scénario 2b Lden par rapport au contour Lden 55 dB de la base.....	197
Figure 131 : Scénario 2b, Lnight	198
Figure 132 : Différence Scénario 2b Lnight par rapport au contour Lnight 45 dB de la base	198
Figure 133 : Scénario 2b, N70 night.....	199
Figure 134 : Différence Scénario 2b night par rapport au contour N70 night 1x de la base.....	199
Figure 135 : Scénario 2c, Lden.....	203

Figure 136 : Différence scénario 2c Lden par rapport au contour Lden 55 dB de la base	203
Figure 137 : Backbone tracks et subtracks pour les arrivées (rouge) et les départs (bleu) avec seulement 2 subtracks	207
Figure 138 : Scénario 3, Lden	208
Figure 139 : Différence Scénario 3 Lden par rapport au contour Lden 55 dB de la base	208
Figure 140 : Scénario 3, Lnight	209
Figure 141 : Différence Scénario 3 Lnight par rapport au contour Lnight 45 dB de la base	209
Figure 142 : Scénario 3, N70 night	210
Figure 143 : Différence Scénario 3 N70 night par rapport au contour N70 night 1x de la base	210
Figure 144 : Backbone tracks uniquement pour la modélisation du scénario 4	213
Figure 145 : Scénario 4, Lden	213
Figure 146 : Différence scénario 4 Lden par rapport au contour Lden 55 dB de la base	214
Figure 147 : Scénario 4, Lden	214
Figure 148 : Différence Scénario 4 Lnight par rapport au contour Lnight 45 dB de la base	215
Figure 149 : Scénario 4, N70 night	216
Figure 150 : Différence Scénario 4 N70 night par rapport au contour N70 night 1x de la base	216
Figure 151 : Seuil physique et seuil déplacé de la piste 25R	219
Figure 152 : Taxiways menant à la piste 25R	220
Figure 153 : Scénario 5, Lden	222
Figure 154 : Différence scénario 5 Lden par rapport au contour Lden 55 dB de la base	222
Figure 155 : Scénario 5, Lnight	223
Figure 156 : Différence Scénario 5 Lnight par rapport au contour Lnight 45 dB de la base	223
Figure 157 : Scénario 5, N70 night	224
Figure 158 : Différence Scénario 5 N70 night par rapport au contour N70 night 1x de la base	224
Figure 159 : Pourcentage d'avions de nouvelle génération dans les prochaines années	229
Figure 160 : Scénario 6, Lden	231
Figure 161 : Différence scénario 6 Lden par rapport au contour Lden 55 dB de la base	231
Figure 162 : Scénario 6, Lnight	232
Figure 163 : Différence Scénario 6 Lnight par rapport au contour Lnight 45 dB de la base	232
Figure 164 : Scénario 6, N70 night	233
Figure 165 : Différence Scénario 6 N70 night par rapport au contour N70 night 1x de la base	233
Figure 166 : Scénario 7, Lden	237
Figure 167 : Différence scénario 7 Lden par rapport au contour Lden 55 dB de la base	237
Figure 168 : Scénario 7, Lnight	238
Figure 169 : Différence Scénario 7 Lnight par rapport au contour Lnight 45 dB de la base	238
Figure 170 : Scénario 7, N70 night	239
Figure 171 : Différence Scénario 7 N70 night par rapport au contour N70 night 1x de la base	239
Figure 172 : Altitudes pour la procédure d'approche VOR sur la piste 07R	243
Figure 173 : Procédure d'approche manquée pour la piste 07R	243
Figure 174 : Backbone tracks et subtracks utilisées pour la base (scénario 0) pour la piste 07L	246
Figure 175 : Backbone track utilisée pour ce scénario pour la piste 07L	246
Figure 176 : Backbone tracks et subtracks utilisées pour la base (scénario 0) pour la piste 07R	247
Figure 177 : Backbone track utilisée pour ce scénario pour la piste 07R	247
Figure 178 : Backbone tracks et subtracks pour la piste 01	248
Figure 179 : Scénario 8a, Lden	249
Figure 180 : Différence scénario 8a Lden par rapport au contour Lden 55 dB de la base	249
Figure 181 : Scénario 8a, Lnight	250
Figure 182 : Différence Scénario 8a Lnight par rapport au contour Lnight 45 dB de la base	250

Figure 183 : Scénario 8a, N70 night	251
Figure 184 : Différence Scénario 8a N70 night par rapport au contour N70 night 1x de la base.....	251
Figure 185 : Scénario 8b, Lden	256
Figure 186 : Différence scénario 8b Lden par rapport au contour Lden 55 dB de la base.....	256
Figure 187 : Scénario 8b, Lnight	257
Figure 188 : Différence Scénario 8b Lnight par rapport au contour Lnight 45 dB de la base	257
Figure 189 : Différence entre les contours Lden 55 dB des scénarios 8a et 8b	258
Figure 190 : Différence entre les contours Lden 55 dB des scénarios 8a et 8b	258
Figure 191 : Scénario 8b, N70 night.....	259
Figure 192 : Différence Scénario 8b N70 night par rapport au contour N70 night 1x de la base	259
Figure 193 : Nombre d'arrivées par piste pour la période du 16 août au 16 septembre 2019.....	264
Figure 194 : Contour Lden 55dB pour la période des travaux sur la balise BUB en 2019 avec les traces des approches sur la piste 07L (rose) et contour Lden 55 dB de la base 2019 (orange).....	265
Figure 195 : Scénario 8c, Lden.....	266
Figure 196 : Différence scénario 8c Lden par rapport au contour Lden 55 dB de la base	266
Figure 197 : Scénario 8c, Lnight.....	267
Figure 198 : Différence Scénario 8c Lnight par rapport au contour Lnight 45 dB de la base.....	267
Figure 199 : Scénario 8c, N70 night.....	268
Figure 200 : Différence Scénario 7 N70 night par rapport au contour N70 night 1x de la base.....	268
Figure 201 : Traces des départs de la piste 25R dans le scénario 9 qui évitent les zones les plus densément peuplées	271
Figure 202 : Carte avec le tracé des départs de la piste 25R dans le scénario 9.....	272
Figure 203 : Trajectoire du scénario 9 qui remplace les départs avec virage gauche.....	272
Figure 204 : Trajectoire du scénario 9 qui remplace la route du Canal	273
Figure 205 : Trajectoires du scénario 9 qui remplacent les départs en direction du Nord-Ouest.....	273
Figure 206 : Scénario 9, Lden	275
Figure 207 : Différence scénario 9 Lden par rapport au contour Lden 55 dB de la base	275
Figure 208 : Scénario 9, Lnight	276
Figure 209 : Différence Scénario 9 Lnight par rapport au contour Lnight 45 dB de la base	276
Figure 210 : Scénario 9, N70 night.....	277
Figure 211 : Différence Scénario 9 N70 night par rapport au contour N70 night 1x de la base.....	277

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Détails du PRS de Brussels-National.....	51
Tableau 2 : Conditions de vent du PRS de Brussels-National.....	51
Tableau 3 : Approches disponibles à Brussels-National	53
Tableau 4 : Évolution de la capacité opérationnelle selon la configuration de pistes	55
Tableau 5 : Critères de vent à Brussels-National au cours des années précédentes, sources : AIP au cours des ans	65
Tableau 6 : Procédures d'approche et aides/équipements disponibles à Brussels-National.....	71
Tableau 7 : Comparaison de 2 vols similaires au départ de la piste 25R	103
Tableau 8 : Comparaison des valeurs mesurées pour les 2 vols similaires au départ de la piste 25R.....	103
Tableau 9 : Comparaison de 2 vols similaires arrivant sur la piste 25L	104
Tableau 10 : Comparaison des valeurs mesurées pour les 2 vols similaires arrivant sur la piste 25L.....	105

Tableau 11 : Comparaison de plusieurs vols similaires au départ de la piste 25R	106
Tableau 12 : Comparaison des valeurs mesurées pour plusieurs vols similaires au départ de la 25R	106
Tableau 13 : Comparaison de plusieurs vols similaires arrivant sur la piste 25L	107
Tableau 14 : Comparaison de plusieurs vols similaires arrivant sur la piste 25L, récepteur n°1	107
Tableau 15 : Comparaison de plusieurs vols similaires arrivant sur la piste 25L, récepteur n°2	108
Tableau 16 : Comparaison entre valeurs calculées et valeurs quantifiées pour les métriques Lday, Levening, Lnight et Lden, récepteurs de l'aéroport, 2019.....	111
Tableau 17 : Comparaison entre valeurs calculées et valeurs quantifiées pour les métriques Lday, Levening, Lnight et Lden, récepteurs de Bruxelles-Environnement, 2019.....	111
Tableau 18 : Comparaison entre valeurs calculées et valeurs quantifiées pour les métriques Lday, Levening, Lnight et Lden, récepteurs de l'aéroport et Bruxelles-Environnement, 2019	112
Tableau 19 : Comparaison entre valeurs calculées et valeurs quantifiées pour la métrique Lamax, récepteurs de l'aéroport, 01/01/2019.....	114
Tableau 20 : Comparaison entre valeurs calculées et valeurs quantifiées pour la métrique Lamax, récepteurs de Bruxelles-Environnement, 01/01/2019.....	114
Tableau 21 : Comparaison entre valeurs calculées et valeurs quantifiées pour la métrique Lamax, récepteurs de l'aéroport, 01/07/2019.....	115
Tableau 22 : Comparaison entre valeurs calculées et valeurs quantifiées pour la métrique Lamax, récepteurs de Bruxelles-Environnement, 01/07/2019.....	115
Tableau 23 : Comparaison entre valeurs calculées et valeurs quantifiées pour la métrique LAmx, récepteurs de l'aéroport et Bruxelles-Environnement, 01/01/2019.....	116
Tableau 24 : Comparaison entre valeurs calculées et valeurs quantifiées pour la métrique LAmx, récepteurs de l'aéroport et Bruxelles-Environnement, 01/07/2019.....	116
Tableau 25 : Comparaison entre valeurs calculées et valeurs quantifiées pour les métriques NA60 day, NA65 day et NA70 day, récepteurs de l'aéroport, 01/01/2019	117
Tableau 26 : Comparaison entre valeurs calculées et valeurs quantifiées pour les métriques NA60 day, NA65 day et NA70 day, récepteurs de Bruxelles-Environnement, 01/01/2019	117
Tableau 27 : Comparaison entre valeurs calculées et valeurs quantifiées pour les métriques NA60 night, NA65 night et NA70 night, récepteurs de l'aéroport, 01/01/2019.....	118
Tableau 28 : Comparaison entre valeurs calculées et valeurs quantifiées pour les métriques NA60 night, NA65 night et NA70 night, récepteurs de Bruxelles-Environnement, 01/01/2019.....	118
Tableau 29 : Comparaison entre valeurs calculées et valeurs quantifiées pour les métriques NA60 day, NA65 day et NA70 day, récepteurs de l'aéroport, 01/07/2019	119
Tableau 30 : Comparaison entre valeurs calculées et valeurs quantifiées pour les métriques NA60 day, NA65 day et NA70 day, récepteurs de Bruxelles-Environnement, 01/07/2019	119
Tableau 31 : Comparaison entre valeurs calculées et valeurs quantifiées pour les métriques NA60 night, NA65 night et NA70 night, récepteurs de l'aéroport, 01/07/2019.....	120
Tableau 32 : Comparaison entre valeurs calculées et valeurs quantifiées pour les métriques NA60 night, NA65 night et NA70 night, récepteurs de Bruxelles-Environnement, 01/07/2019.....	120
Tableau 33 : Comparaison entre valeurs calculées et valeurs quantifiées pour les métriques NA60 day, NA65 day et NA70 day, pour les récepteurs de l'aéroport, pour l'année 2019	122
Tableau 34 : Comparaison entre valeurs calculées et valeurs quantifiées pour les métriques NA60 day+evening, NA65 day+evening et NA70 day+evening, pour les récepteurs de l'aéroport, pour l'année 2019	122
Tableau 35 : Comparaison entre valeurs calculées et valeurs quantifiées pour les métriques NA60 night, NA65 night et NA70 night, pour les récepteurs de l'aéroport, pour l'année 2019.....	123
Tableau 36 : Comparaison entre valeurs calculées et valeurs quantifiées pour les métriques Lday, Levening, Lnight et Lden, récepteurs de l'aéroport, 2017.....	124

Tableau 37 : Comparaison entre valeurs calculées et valeurs quantifiées pour les métriques Lday, Levening, Lnight et Lden, récepteurs de Bruxelles-Environnement, 2017	124
Tableau 38 : Comparaison entre valeurs calculées et valeurs quantifiées pour les métriques Lday, Levening, Lnight et Lden, récepteurs de l'aéroport et Bruxelles-Environnement, 2017	125
Tableau 39 : Population exposée pour la métrique Lden, base 2019.....	130
Tableau 40 : Population exposée pour la métrique Lnight, base 2019.....	132
Tableau 41 : Population exposée pour la métrique N60 day+evening, base 2019.....	133
Tableau 42 : Base 2019, métrique N60 night, base 2019.....	135
Tableau 43 : Population exposée pour la métrique N70 day+evening, base 2019.....	136
Tableau 44 : Population exposée pour la métrique N70 night, base 2019	137
Tableau 45 : Impacts du scénario 1a1.50	150
Tableau 46 : Impacts du scénario 1a1.100.....	151
Tableau 47 : Impacts du scénario 1a2.50	163
Tableau 48 : Impacts du scénario 1a2.100.....	165
Tableau 49 : Impacts du scénario 1b1.50.....	175
Tableau 50 : Impacts du scénario 1b1.100	176
Tableau 51 : Impacts du scénario 1b2.50.....	186
Tableau 52 : Impacts du scénario 1b2.100	188
Tableau 53 : Impacts du scénario 2a.....	195
Tableau 54 : Impacts du scénario 2b	200
Tableau 55 : Impacts du scénario 2c.....	204
Tableau 56 : Impacts du scénario 3	211
Tableau 57 : Impacts du scénario 4	217
Tableau 58 : Impacts du scénario 5	225
Tableau 59 : Types d'avion les plus présents en 2017 et 2019, triés par ordre décroissant en 2019.....	228
Tableau 60 : Types d'avion les plus présents dans ce scénario à l'horizon 2025	230
Tableau 61 : Impacts du scénario 6	234
Tableau 62 : Impacts du scénario 7	240
Tableau 63 : Impacts du scénario 8a.....	252
Tableau 64 : Différences d'altitude en fonction de l'angle de descente.....	254
Tableau 65 : Impacts du scénario 8b	260
Tableau 66 : Utilisation des pistes alternatives pour les arrivées (hors hélicoptères et vols militaires) en 2018 et 2019.....	263
Tableau 67 : Utilisation des pistes alternatives pour les arrivées en 2018 (hors hélicoptères et vols militaires).....	264
Tableau 68 : Impacts du scénario 8c.....	269
Tableau 69 : Impacts du scénario 9	278

Résumé Non Technique

Contexte

En avril 2018 une étude des incidences de l'exploitation de l'aéroport de Bruxelles-National sur l'environnement, pour ce qui concerne les nuisances sonores (BB/ PUR- 16/ 11/ 2017-48 BIS) a été confiée au bureau ENVISA et a été conclue en juin 2019.

L'étude comprenait les deux volets suivants (passages figurant dans l'introduction du Cahier Spéciale des Charges) :

- Le premier volet portait sur la réalisation d'une étude d'incidences visant à objectiver, de manière scientifique, indépendante et transparente, l'activité actuelle de l'aéroport de Bruxelles-National (en sa globalité), au regard de l'application de toutes les lois et réglementations ainsi que des règles et procédures aéronautiques applicables (mesures de sécurité, mesures de restriction d'exploitation, routes aériennes et leurs conditions d'utilisation, normes de vent...), et des nuisances sonores engendrées. Si l'adjudicataire estimait que des mesures supplémentaires devaient être réalisées selon des standards reconnus, il était autorisé à le faire.
- Le second volet consistait en l'inclusion dans cette étude d'incidences d'un examen de solutions alternatives permettant l'atténuation des nuisances sonores, tenant compte de la condition essentielle relative à la sécurité, et comprenant l'évaluation des incidences de ces alternatives sur la capacité d'exploitation de l'aéroport telle que garantie par l'article 24 du troisième contrat de gestion entre l'État et Belgocontrol, approuvé par arrêté royal du 25 avril 2014. Les solutions envisagées dans le cadre de ce second volet devaient par ailleurs être conçues, proposées, décrites et analysées par l'adjudicataire au regard notamment du rapport entre le bénéfice ou le désavantage escompté en termes de nuisances sonores et les impacts d'ordre pratique, économique, directs et indirects pour les différents intervenants et les parties intéressées.

Par ordonnance du 9 décembre 2020 prononcée en la cause portant le numéro de rôle général 2018/4372/A la chambre des référés du Tribunal de première instance francophone de Bruxelles a cependant estimé, en son point 55, que « l'étude d'incidences, en ses deux volets (objectivation et mesures alternatives) réalisée par ENVISA est incomplète et partant, ne répond pas, à l'heure actuelle » à ce qui a été décidé dans le jugement susvisé du 19 juillet 2017, ainsi que dans le jugement postérieur du 1er février 2019 (portant le numéro de rôle 18/4372/A).

ENVISA a été chargée de compléter les recherches et travaux réalisées en 2019 conformément aux jugements. En concentrant toutes les thématiques étudiées en complément de nos précédents travaux dans un chapitre unique (le présent Chapitre 3 « addendum »), nous espérons que les parties aux jugements pourront identifier plus rapidement nos compléments d'étude.

Les deux chapitres originaux ont également été corrigés et coordonnés avec l'addendum afin de tenir compte des observations et corrections ultérieures.

En conséquence, avec cet addendum, ainsi que les chapitres 1 et 2 corrigés, ce travail doit être considéré comme définitif et complet.

Aperçu de chaque chapitre

Chapitre 1

Le Chapitre 1 fait partie du rapport original, il a été mis à jour. Il présente d'abord le contexte historique, actuel et futur de l'aéroport. Les discussions avec les intervenants (organisations institutionnelles, opérationnelles et communautaires) sont exposées dans le but de mettre en lumière les préoccupations au sujet de la situation actuelle (plus précisément, telle qu'elle l'était en 2017). Les sujets tels que les opérations de nuit et la concentration (ou la dispersion) du bruit sont abordés. Ensuite, le cadre de gouvernance est examiné, puis des observations sont formulées sur les rôles et les responsabilités en place à l'aéroport ainsi que sur le système de surveillance de bruit. Une première cartographie du bruit a été réalisée, concernant l'année 2017, pour évaluer et rendre compte de l'impact sonore des opérations autour de l'aéroport. La méthode et les données d'entrée sont expliquées avant de montrer les cartes et les estimations de la population impactée avec plusieurs métriques. La justification de cette cartographie, par la comparaison des valeurs modélisées avec les valeurs mesurées, figure dans le Chapitre 3, à la suite de la comparaison faite pour la cartographie de l'année 2019.

Chapitre 2

Le Chapitre 2 est aussi celui du rapport original mis à jour. La chronologie des décisions historiques, qui a été complétée, expose l'ensemble des décisions judiciaires ou administratives rendues en matière de nuisances sonores résultant de l'exploitation de l'aéroport de Bruxelles-National et ayant un impact sur la gestion, l'exploitation et/ou l'activité actuelle de l'aéroport. Les résultats de l'examen des décisions en ce qui concerne les normes de vent figurent dans le Chapitre 3. Les parties explicatives originales sur les critères de vent et le PRS ont aussi été mises à jour et complétées dans le Chapitre 3 (Addendum). On trouve à présent dans ce chapitre seulement des exemples de critères pour d'autres grands aéroports européens. Ensuite, les nombreux points de vue exprimés ou publiés par les communautés touchées ont été regroupés. Les considérations relatives aux répercussions sur la santé sont décrites pour montrer qu'il y a plusieurs facteurs à prendre en compte dans l'exposition au bruit. Des améliorations structurelles et des exemples de bonnes pratiques sont ensuite mentionnés, suivis d'exemples d'analyse de données et de modèles opérationnels alternatifs possibles, que les scénarios dans le Chapitre 3 complètent. Enfin, des conclusions et des recommandations sont émises.

Chapitre 3 (Addendum)

Le Chapitre 3 est appelé "Addendum" car il répond à l'ordonnance du 9 décembre 2020 et complète les deux chapitres originaux. Il contient une partie explicative sur les pratiques opérationnelles et leur impact qui s'appliquent en général et également à l'aéroport de Bruxelles-National. Les éléments concernant le PRS (Preferential Runway System) ont été groupés et complétés dans ce chapitre. Les conclusions de l'étude des décisions judiciaires ou administratives concernant les normes de vent y sont présentées. Une nouvelle cartographie a été établie sur la base de l'année 2019, avec plusieurs métriques (expliquées dans une section dédiée), qui est justifiée par une section comparative des valeurs de bruit modélisées et de celles mesurées autour de l'aéroport. Enfin, les propositions des parties judiciaires ont été examinées et des scénarios alternatifs, définis à partir de ces propositions, ont été modélisés, analysés et comparés à la base 2019 afin d'évaluer leur impact, qui est décrit et résumé pour chaque scénario.

Conclusions et Recommendations

Le travail récent réalisé et présenté dans ce nouveau rapport, répondant à l'ordonnance de décembre 2020, délivre une analyse scientifique détaillée, avec des cartes et des métriques étendues, des différents scénarios proposés. Ce rapport fournit ainsi des résultats de l'impact des scénarios alternatifs à l'aéroport de Bruxelles-National visant à « améliorer » la situation et notamment à réduire l'impact des nuisances sonores sur les populations.

Toutefois, cette analyse détaillée des résultats obtenus pour chaque scénario modélisé dans l'addendum ne doit pas faire oublier les conclusions et les recommandations du Chapitre 2, écrites en 2019, qui sont toujours pertinentes. Il est important de rappeler que pour juger des avantages des scénarios, il faut qu'il y ait une politique claire et acceptée par tous de la gestion de bruit (par exemple favoriser la concentration ou la dispersion). ENVISA a notamment déjà constaté (dans la première version du Chapitre 2 publié en 2019) que la plupart des problèmes liés au bruit autour de l'aéroport de Bruxelles-National ont été stimulés par des facteurs non techniques et non scientifiques, notamment :

- De multiples changements arbitraires quant à l'endroit et à la façon dont les avions volent ;
- La fragmentation de la réglementation et de la gouvernance ;
- L'absence d'une politique commune et cohérente en matière de gestion de la pollution sonore engendrée par les avions ;
- Le manque d'engagement et de communication publique (comme en témoigne l'incompréhension généralisée chez de nombreux intervenants) ;
- Le nimbyisme dans les prises de décisions politiques et judiciaires ;
- Le manque de clarté dans l'application des règles opérationnelles ;
- L'incertitude publique quant à l'endroit, le moment et la façon dont les aéronefs sont censés voler ;
- En dépit d'une bonne application générale des règles opérationnelles, il demeure quelques exceptions pour lesquelles une application moins optimisée est observée (quelques solutions potentielles sont fournies dans le Chapitre 2) ;
- Les communautés se dressent contre les communautés voisines ;
- La perte de confiance du publique.

Les solutions à ces facteurs ne sont pas scientifiques, mais plutôt structurelles et procédurales. Alors que les solutions à ces problèmes structurels peuvent être mises en pratique, ou suggérées, aucune agence externe n'a le pouvoir de les imposer - elles transcendent la gestion pure et simple du bruit. Ces questions doivent être résolues avant qu'une quelconque solution scientifique ou technique globale de gestion du bruit ne puisse être conçue, et convenue d'un commun accord.

Il est probable que le public s'attende à ce que ce rapport fournisse une solution de gestion de la pollution sonore engendrée par l'aéroport qui éliminera le problème du bruit des avions à BRU. Malheureusement, ce n'est pas possible. Les problèmes existent depuis de nombreuses années et même si des améliorations rapides sont suggérées dans ce rapport, il faudra du temps pour concevoir et convenir des solutions qui seront finalement déployées. Dès lors, toute personne vivant à proximité d'un grand aéroport subira une pollution sonore et aucune solution unique ne saurait protéger tout le monde en même temps.

Toutefois, dans le but d'apporter une solution scientifique unique globale à la pollution sonore autour de l'aéroport de Bruxelles, il serait nécessaire de définir un ensemble d'objectifs spécifiques et convenus d'un commun accord. Aucun organisme extérieur ne peut imposer une telle politique à un État étant donné que l'équilibre et la viabilité requis ne peut être déterminé que par cet État (avec, espérons-le, une approche inclusive). Les avantages économiques et sociaux de l'aéroport national sont conséquents et doivent être contrebalancés « politiquement » avec les impacts négatifs.

Une politique commune en matière de gestion de la pollution sonore à l'aéroport de Bruxelles est une condition préalable pour que tout organisme puisse déterminer la solution opérationnelle optimale pour cette dernière. Par exemple, les objectifs de la politique en matière de bruit sont-ils :

- Avoir le moins grand nombre de personnes gravement touchées par le bruit des avions ?
- Avoir le moins de personnes survolées ?
- Éviter tous les lieux calmes de la Capitale ?
- Éviter toute perturbation du sommeil due au bruit des avions ?
- Offrir un peu de répit à chaque population ?
- Distribuer les aéronefs sur une base équitable ?
- Avoir un aéroport performant ?
- S'assurer que la loi sur l'aménagement du territoire empêche efficacement l'empiètement d'aménagements inappropriés ?
- Maximiser les avantages économiques ?
- Éviter toute pollution sonore inacceptable pour tout individu se trouvant à une distance définie de l'aéroport ?
- Donner la priorité à ceux qui sont le plus durement touchés par le bruit des avions, même si cela signifie survoler des zones plus densément peuplées plus loin ?

Ces objectifs ne sont pas entièrement compatibles entre eux. Il n'est également pas indiqué que ceux-ci sont définis comme une politique belge commune de gestion de la pollution sonore engendrée par l'aéroport de Bruxelles, ne précisant pas comment, quand et où ces objectifs doivent être réalisés.

Le plan d'action portant sur cette pollution sonore à l'aéroport de Bruxelles (répondant à la directive 2002/49/CE de l'UE) se rapproche le plus d'une telle politique, mais ne semble pas faire l'objet d'un accord commun, ne précisant pas clairement les objectifs politiques. Il semble également se concentrer sur l'application des règles existantes et, en tant que tel, ne fournit pas une base pour la conception d'une nouvelle solution indépendante de la gestion du bruit à BRU.

Tant qu'aucun processus politique, harmonisé et convenu d'un commun accord n'est achevé, aucune agence extérieure ne pourra fournir de manière scientifique une « solution miracle ».

La politique doit guider les solutions opérationnelles, évaluées scientifiquement et non l'inverse.

Avant-propos

"Vous pouvez plaire à certaines personnes tout le temps, vous pouvez plaire à toutes les personnes parfois, mais vous ne pouvez pas plaire à toutes les personnes tout le temps."

Cette étude vise à faciliter la discussion et à proposer un cadre permettant à chacun de participer au débat d'une manière juste et équitable. Nous ne voyons pas de remède miracle aux problèmes qui nous ont été rapportés. Mais il est clair que de nombreuses idées doivent faire l'objet d'un débat et d'une évaluation plus approfondis, et qui, prises individuellement ou dans leur ensemble, conduiront inévitablement à une amélioration par rapport à la situation actuelle.

Reconnaître qu'une amélioration est possible, et donc, admettre que des progrès sont réalisés dans la bonne direction, dépend de la réalisation d'un consensus sur les critères à utiliser pour évaluer cette "amélioration". Pour ce faire, une infrastructure et des processus efficaces en matière de réglementation, de politique et d'engagement communautaire doivent être mis en place.

Il sera essentiel de comprendre l'impact réel et la productibilité des options pour assurer une bonne prise de décision. Protéger la majorité de la population contre les effets néfastes les plus graves nécessitera des décisions difficiles, car tout le monde ne peut être protégé en tout temps. La prévisibilité, la clarté et l'honnêteté seront nécessaires pour éviter de susciter des attentes irréalistes et pour rétablir la confiance. Une planification, plus radicale et à plus long terme peut s'avérer nécessaire.

Ce n'est qu'en observant une amélioration des faits mesurables que nous pouvons nous assurer que des progrès sont réalisés.

1 Introduction

1.1 Contexte

En avril 2018 une étude des incidences de l'exploitation de l'aéroport de Bruxelles-National sur l'environnement, pour ce qui concerne les nuisances sonores (BB/ PUR- 16/ 11/ 2017-48 BIS) a été confiée au bureau ENVISA et a été conclue en juin 2019.

L'étude comprenait les deux volets suivants (passages figurant dans l'introduction du Cahier Spéciale des Charges) :

- Le premier volet portait sur la réalisation d'une étude d'incidences visant à objectiver, de manière scientifique, indépendante et transparente, l'activité actuelle de l'aéroport de Bruxelles-National (en sa globalité), au regard de l'application de toutes les lois et réglementations ainsi que des règles et procédures aéronautiques applicables (mesures de sécurité, mesures de restriction d'exploitation, routes aériennes et leurs conditions d'utilisation, normes de vent...), et des nuisances sonores engendrées. Si l'adjudicataire estimait que des mesures supplémentaires devaient être réalisées selon des standards reconnus, il était autorisé à le faire.
- Le second volet consistait en l'inclusion dans cette étude d'incidences d'un examen de solutions alternatives permettant l'atténuation des nuisances sonores, tenant compte de la condition essentielle relative à la sécurité, et comprenant l'évaluation des incidences de ces alternatives sur la capacité d'exploitation de l'aéroport telle que garantie par l'article 24 du troisième contrat de gestion entre l'État et Belgocontrol, approuvé par arrêté royal du 25 avril 2014. Les solutions envisagées dans le cadre de ce second volet devaient par ailleurs être conçues, proposées, décrites et analysées par l'adjudicataire au regard notamment du rapport entre le bénéfice ou le désavantage escompté en termes de nuisances sonores et les impacts d'ordre pratique, économique, directs et indirects pour les différents intervenants et les parties intéressées.

Par ordonnance du 9 décembre 2020 prononcée en la cause portant le numéro de rôle général 2018/4372/A la chambre des référés du Tribunal de première instance francophone de Bruxelles a cependant estimé, en son point 55, que « l'étude d'incidences, en ses deux volets (objectivation et mesures alternatives) réalisée par ENVISA est incomplète et partant, ne répond pas, à l'heure actuelle » à ce qui a été décidé dans le jugement susvisé du 19 juillet 2017, ainsi que dans le jugement postérieur du 1er février 2019 (portant le numéro de rôle 18/4372/A).

ENVISA a été chargée de compléter les recherches et travaux réalisées en 2019 conformément aux jugements. En concentrant toutes les thématiques étudiées en complément de nos précédents travaux dans un chapitre unique (le présent Chapitre 3 « addendum »), nous espérons que les parties aux jugements pourront identifier plus rapidement nos compléments d'étude.

Les deux chapitres originaux ont également été corrigés et coordonnés avec l'addendum afin de tenir compte des observations et corrections ultérieures.

En conséquence, avec cet addendum, ainsi que les chapitres 1 et 2 corrigés, ce travail doit être considéré comme définitif et complet.

1.2 Contenu et structure du rapport

Ce rapport se compose de 7 sections principales afin de répondre aux exigences de l'ordonnance de décembre 2020 :

Section 2 : Propositions des parties judiciaires

Cette section donne un aperçu des commentaires et suggestions reçus des parties judiciaires. Les détails complets de la correspondance reçue par l'ENVISA se trouvent à l'annexe A.

Section 3 : Réponses aux commentaires des parties judiciaires

Ici, nous répondons à des commentaires généraux, des commentaires sur l'utilisation des pistes, les données d'entrée du modèle, des commentaires des parties judiciaires qui ne nécessitent pas de scénarios avec plusieurs modélisations.

Section 4 : Explications sur les pratiques opérationnelles et leur impact

Les discussions précédentes, ainsi que les remarques et le retour des lecteurs de nos précédentes publications, montrent clairement qu'il existe certaines fausses idées sur les aspects techniques d'exploitation (c'est-à-dire le pilotage et le contrôle) des aéronefs autour d'un aéroport. Cette section propose quelques explications pédagogiques, parfois dans un contexte générique mais qui s'appliquent également au contexte ATC et juridique de l'aéroport de Bruxelles.

Section 5 : Les différentes métriques pour mesurer le bruit

Cette section fournit des détails sur les mesures de bruit spécifiques qui sont utilisées dans ce rapport pour tenter de quantifier l'impact des différents scénarios d'exploitation. Il est important de comprendre qu'aucune mesure unique ne peut être utilisée pour décrire une situation modifiée. Plusieurs mesures sont nécessaires, ainsi que l'examen des cartes de bruit pour comprendre les changements géographiques de la population touchée.

Section 6 : Comparaison entre les valeurs de bruit mesurées et les valeurs quantifiées

Une analyse a été faite des données sonomètres des réseaux de Bruxelles-Environnement et de l'Aéroport pour les années 2017 et 2019. Ces données ont été comparées aux données modélisées.

Section 7 : Scénarios

Parmi les propositions et les commentaires des parties judiciaires, une analyse a été faite et des thèmes communs ont été identifiés. En raison du temps limité imparti à ce travail et de certaines contraintes sur ce qu'il est possible de modéliser, une liste restreinte de scénarios (et leurs variantes) a été établie. Ils sont présentés dans la section 7. Un « tableau de bord » d'analyse des résultats est présenté pour chaque scénario et variante afin de faciliter la comparaison avec les contours de bruit pour l'année 2019 qui sert de base pour les comparaisons. Les chiffres complets sont consultables dans l'Annexe B.

Section 8 : Résumé des Observations sur les résultats des scénarios

Dans cette section, nous essayons de résumer ce qui peut être conclu des résultats de chaque scénario, objectivement. Nous reprenons les avantages et inconvénients du scénario, en balançant l'impact du bruit sur les riverains avec les autres facteurs, mais nous n'apportons pas de jugement ou de classement des meilleurs scénarios. Comme indiqué précédemment, ce n'est qu'une fois qu'une politique claire en matière de bruit est mise en place par l'État belge (et acceptée par toutes les régions), indiquant clairement des objectifs quantifiables en matière de bruit, qu'une telle évaluation peut être faite.

1.3 Les limites de la modélisation : le facteur humain

Tout au long de ce rapport, Envisa travaille sur des études et modélisations techniques qui ont pour but d'évaluer des trajectoires et leurs impacts sur le bruit. Dans le cadre des simulations, de nombreuses hypothèses sont faites concernant ces trajectoires, les procédures associées, leurs fréquences d'utilisation, ainsi que toutes les solutions envisagées, qu'elles soient techniques ou réglementaires.

La modélisation du trafic aérien est un outil fondamental pour l'analyse du bruit des avions dans les environnements aéroportuaires. Il faut s'en servir en étant conscient de ses limites. Comme dans d'autres secteurs, la modélisation et les hypothèses associées cherchent à dépeindre une réalité d'un point de vue technique, logiciel et déshumanisé. Or, le facteur humain est un élément primordial pour comprendre les opérations aériennes.

Durant toutes les phases d'un vol, les pilotes d'un vol commercial cherchent à maximiser leur performance opérationnelle : être à l'heure, consommer le moins de carburant possible, maximiser le confort passager en évitant par exemple les zones de turbulences, et ce tout en minimisant les menaces et risques du vol. Le contrôleur aérien n'a pas toujours les mêmes considérations opérationnelles : il doit maximiser la capacité d'accueil de son aéroport en guidant les départs et les arrivées, tout en s'assurant du respect des contraintes d'espacement entre chaque appareil et des réglementations et procédures générales et locales. Il fournit également un service d'information de vol et d'alerte. Le contrôleur aérien cherche bien entendu, tant que cela est raisonnablement possible, à faciliter la tâche du pilote dans son objectif de performance opérationnelle. Un des exemples peut être le vectoring ou l'attribution de routes directes afin de réduire le temps de vol et de fluidifier le trafic. L'inconvénient est que le vectoring réduit la prévisibilité des routes et n'optimise pas forcément les trajectoires pour limiter le bruit ; les directs enlèvent le bénéfice des instructions définies dans les procédures en termes de bruit.

Une grande majorité des échanges entre un avion et un centre de contrôle se fait par la voix via VHF. Il s'agit donc presque d'une « discussion » entre deux intervenants. Elle est certes technique, codifiée et s'en tient au strict minimum nécessaire, mais le facteur humain y joue forcément un rôle. Lorsque le trafic est dense, il peut être dur de concilier les objectifs de tout le monde. Il n'est pas rare de voir des efforts de négociations de la part des pilotes afin d'obtenir un raccourci ou un niveau de vol différent. Ceci est parfaitement normal et le résultat obtenu, en termes de trajectoire, peut notamment dépendre de la charge de travail du moment pour le contrôleur, ou de la possibilité de répondre rapidement ou non selon l'état d'occupation de la fréquence VHF à un instant donné et du nombre d'autres sollicitations ayant lieu sur cette même fréquence. Contrairement à la planification des vols en amont, les décisions sont ici prises en temps réel uniquement par des humains. Ainsi, pour des conditions extérieures et une quantité de trafic données, les trajectoires peuvent varier d'un jour à l'autre, du fait du facteur humain.

Envisa encourage donc chaque partie prenante à garder à l'esprit qu'aucune solution ne sera parfaite et que les trajectoires réelles ne sont pas uniquement le résultat de considérations techniques et procédurales. Elles sont également le résultat de décisions prises en temps réel, le facteur humain ne pouvant être évité. Les modélisations sont ainsi une représentation proche, mais non parfaite, de la réalité.

2 Propositions des parties judiciaires

Les remarques, revendications et idées des différentes parties judiciaires qui ont été envoyées à Envisa à la suite de l'ordonnance du Tribunal du 9 décembre 2020 sont résumées ci-dessous. Aucun commentaire ou interprétation n'a été ajouté. Pour certains d'entre eux, les parties judiciaires ont demandé explicitement qu'elles soient intégrées dans le rapport final. Les remarques complètes sont dans l'Annexe A.

- Pour les communes du Canal :
 - Trop de départs « route du Canal » alors que la densité de population est la plus élevée sur cette trajectoire de départ, en plus de devoir supporter des atterrissages sur la piste 07L

- Pour les communes de Woluwe-Saint-Pierre, Kraainem et Wezembeek-Oppem :
 - Ils doivent supporter une accumulation de perturbations : trop de départs avec virage gauche (environ 40% du total des départs) + trop d'atterrissages sur la piste 01 malgré le PRS + trop de décollages de la piste 19
 - En 2017, la piste 01 a été moins utilisée que les années précédentes, ce qui fausse l'analyse de la situation actuelle en minimisant son impact
 - L'AIP publié le 19 septembre 2013 (sur le SRP, avec un vent arrière plus élevé autorisé) était licite et devrait être utilisé, alors que l'AIP publié ensuite (3 avril 2014 et actuel) ne l'était pas et ne devrait pas être utilisé
 - Le PRS actuel ne respecte pas les recommandations de l'OACI
 - L'état belge n'a pas respecté tous les jugements antérieurs limitant l'utilisation de la piste 01
 - Le réseau de sonomètres devrait être élargi sous le couloir de la piste 01
 - Une répartition équitable des survols devrait être encouragée en utilisant autant que possible les pistes 25L/R pour les atterrissages et les décollages
 - Les décollages de la piste principale 25R sont répartis équitablement
 - A propos des graphiques :
 - Ils ne reflètent pas la réalité perçue sur le terrain
 - Envisa doit produire des tableaux de survols suite aux jugements de juillet 2017 et février 2019 et montrant les évolutions

- Pour l'État belge :
 - Les données radar de 2017 pourraient inclure des périodes non représentatives du trafic normal réel, étant donné les travaux de maintenance effectués sur certaines infrastructures.
 - Quel est l'impact des changements météorologiques sur l'utilisation des pistes dans les années passées et dans le futur ?
 - Quelle est l'évolution de la flotte d'avions actuellement à BRU ?
 - Quels sont les paramètres permettant de dresser correctement un tableau complet des perturbations sonores ?

- Quel a été l'impact de la procédure PBN 07L pendant les travaux de maintenance et la mise hors service du VOR BUB, par rapport à une utilisation théorique d'une procédure PBN ? Pourquoi les gains de bruit n'ont-ils pas été atteints ? Cette situation est-elle comparable à celle de la procédure VOR offset ?
 - Quel a été l'impact sur le bruit des procédures de départ PBN lorsque le VOR BUB était en maintenance ? En particulier, quel a été l'impact des différences de codage pour certaines routes avec virage gauche ?
 - Quel serait un critère de vent sûr pour le PRS qui limiterait l'utilisation des pistes 01 et 07L/R ?
 - Quels seraient les aspects opérationnels pour garantir la sécurité lors d'un changement de piste ?
 - Est-il possible d'interdire les arrivées de gros avions comme les A330, B777, B747 pendant les périodes nocturnes ? Quelles en seraient les conséquences (économie et bruit) ?
 - Que devrait faire l'État belge pour se conformer aux convictions exprimées dans le passé (notamment en ce qui concerne les routes du Canal et du Ring) et l'utilisation de la piste 01 ?
 - Pour chaque nouvelle mesure, évaluer le temps nécessaire à son exécution.
 - Aussi, quelques questions simples sur les tableaux du chapitre 1 (comme comment lire les données du tableau 6-1 p 67).
- Pour la Région flamande :
 - Mettre à jour les fiches en utilisant AEDT v. 3c pour se conformer aux normes les plus récentes (Doc 29 4ème édition) et ANP
 - Expliquez comment la méthodologie AEDT est conforme à l'instruction européenne EU 2015-996 et quelles seraient les différences.
 - Atmosphère standard : le vent moyen utilisé est de 7,28 kts, alors que dans l'étude BAC (L'UGent), un vent de 4,1 kts est utilisé. Pourquoi une telle différence ?
 - Une comparaison doit être faite entre les cartes de contour du bruit et les mesures du bruit.
 - Mais les données d'entrée ne doivent pas être ajustées pour se conformer à ces mesures.
 - Les mesures de bruit doivent être effectuées conformément à certaines normes (ISO20906:2009).
 - Les normes fixées par le jugement sur le bruit de 1999 ne correspondent pas à ces normes ISO.
 - Données démographiques : des données plus détaillées pourraient être disponibles en Belgique.
 - Fournir les cartes de contour du bruit calculées dans des formats SIG ainsi que toutes les données sous-jacentes.

Scénarios et solutions alternatives

Liste des modifications ou des scénarios à examiner, tels qu'ils ont été exprimés.

- Pour référence, une simulation d'un scénario « Business as usual » : maintien de l'activité telle qu'elle est, incluant la croissance prévue du trafic (dans les limites de ce qui est autorisé par la licence actuelle).
- Plan "Vision 2040" de la société Brussels Airport - PRS :
 - Modifier les critères relatifs au vent (augmenter la composante vent arrière autorisée, la façon dont le vent est défini et l'incorporation des rafales).
 - Utilisez l'AIP du 19 septembre 2013
 - Modifier l'utilisation actuelle des pistes pour les décollages et les atterrissages.
- Départs
 - Utilisation extensive de procédures de départ alternatives (*sans dire lesquelles*)
 - Modifier les trajectoires sur les procédures de départ

- Augmentation de l'altitude de virage pour les départs de la piste 25R
- Sur certaines périodes, un NADP plus contraignant.
- Début des roulages au sol à partir du seuil physique de la 25R
- Approches
 - Pour les pistes 01, 07L/R : procédures ILS ou RNP avec des angles de descente plus élevés (3,3° à 3,5°).
- A propos de la période nocturne :
 - Suppression progressive des vols de nuit
 - Suppression complète des vols de nuit pendant les périodes :
 - 00h - 6h
 - 23h - 6h30
 - 23h - 7h
 - Nuit opérationnelle prolongée jusqu'à 7h (au lieu de 6h)
 - Modifier les catégories d'avions autorisées la nuit
 - Changement dans le QC autorisé
 - Réduction du nombre de mouvements autorisés
 - Changement du type de vols (utilisation d'autres aéroports pour le fret)
- Infrastructure
 - Pistes plus longues (en particulier pour les pistes 07R/25L, 900m de piste ajoutée à l'Est pour augmenter la distance de décollage)
 - EMAS à la fin de la RWY 19
 - ILS sur les pistes 07L/R
 - Sortie rapide TWY sur RWY 07R
 - TWY qui permettrait d'atteindre le seuil de la piste 25L pour les départs.
- Flotte d'avions :
 - Incitations à utiliser des avions plus silencieux (modification des taxes en fonction du QC, de l'heure des vols ou simplement un QC plus restrictif).
 - Accès interdit aux avions "vieux et bruyants".
 - Suppression complète des vols de fret
 - Réduction du QC maximum autorisé
 - Utilisation étendue de l'A350 et de l'A320neo, analyse en fonction de leur présence dans la flotte (par exemple, par tranches de 10%)
- Combinaisons des modifications précédentes
- Autres :
 - Favoriser le survol des routes, autoroutes, chemins de fer, zones à faible densité
 - Insolation sonore des bâtiments

3 Réponses aux commentaires des parties judiciaires

Les réponses apportées ici répondent à des commentaires généraux, des commentaires sur l'utilisation des pistes et sur les données d'entrée du modèle, ainsi que des commentaires des parties judiciaires qui ne nécessitent pas de scénarios avec plusieurs modélisations. Les scénarios comportant des modélisations complètes sont présentés dans la [section 7](#). Certaines des réponses dans cette partie font le lien avec ces scénarios, d'autres font référence aux sections explicatives/pédagogiques dans la partie suivante.

3.1 Communes du Canal

Les Communes du Canal se plaignent « d'un nombre trop important de départs avec la Route du Canal alors que la densité de population est la plus grande le long de cette route et que les arrivées sur la piste 07L les survolent déjà ».

Il est difficile de définir « trop ». En 2019, il y a eu environ 7500 départs suivant la Route du Canal, soit 6,4 % des départs, et 6640 arrivées sur la piste 07L, soit 1 % des arrivées. Il y a eu environ 4900 départs durant la période de jour (de 7h à 19h), 1140 durant la soirée (de 19h à 23h), et 1460 pendant la nuit (de 23h à 7h). La route du Canal est plutôt utilisée le week-end.

Voici la répartition des départs sur la Route du Canal avec les sous-trajectoires, ainsi que le contour Lden 55dB, en 2019:

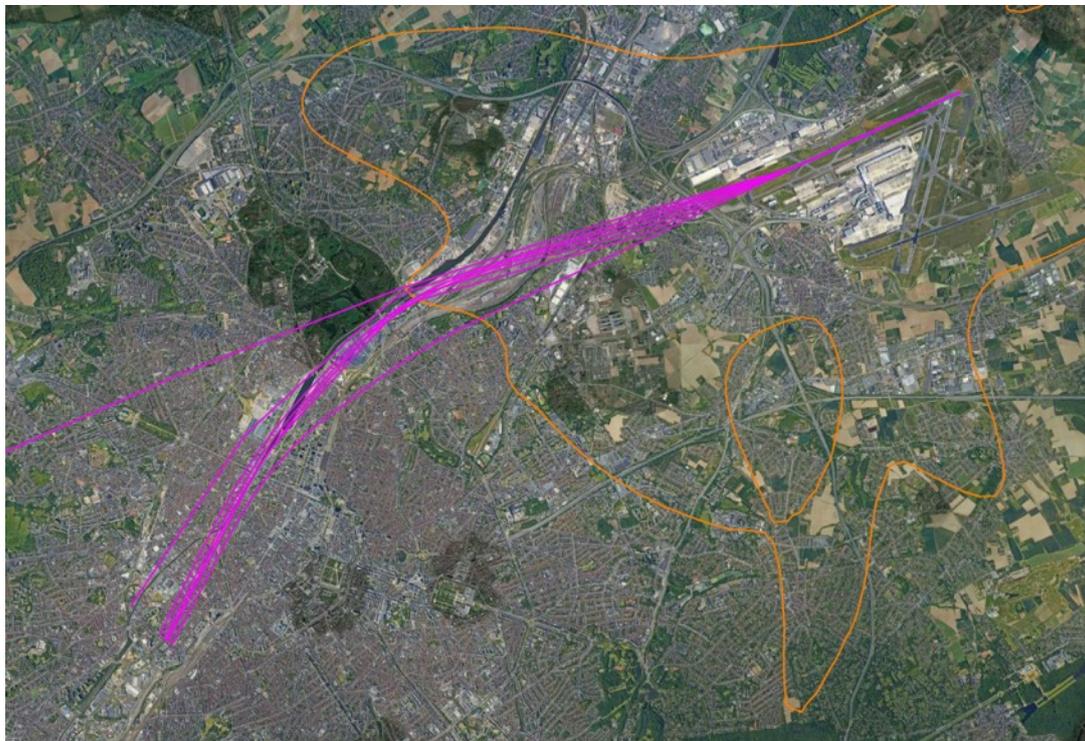


Figure 1 : Traces des départs suivant la route du Canal

Avec 7 sous-trajectoires, la dispersion est de 28,2 % pour la trajectoire centrale, 22,2 % pour les 2 sous-trajectoires de chaque côté de la trajectoire centrale et 10,6 % et 3,1 % pour les 2 sous-trajectoires les plus éloignées de la trajectoire centrale. Le lecteur est invité à lire la [section explicative sur la dispersion des trajectoires autour d'une route publiée](#) qui explique pourquoi les trajectoires dessinées sur les procédures ne correspondent pas nécessairement aux trajectoires réelles suivies. Le [scénario 9](#) de cette étude propose une route de départ alternative.

« Quel est le risque au sol, d'un accident aérien, plus précisément la probabilité et le nombre de victimes possibles parmi les habitants, par configuration de piste ? »

C'est très difficile à dire. Si l'on considère seulement les accidents sur piste, c'est-à-dire survenant pendant ou juste après le décollage ou l'atterrissage, on peut mettre en avant le fait que le vent joue un rôle important sur la stabilité de l'appareil, d'où la nécessité d'utiliser toujours les pistes avec un vent de face. Des statistiques sur les accidents et des explications sur la prise en compte du vent pour la sécurité des approches sont données dans la [section explicative Risques et accidents](#).

3.2 Communes au Sud de l'aéroport : Woluwe-Saint-Pierre, Kraainem et Wezembeek-Oppeem

Les Communes au Sud de l'aéroport se plaignent d'une accumulation des nuisances : *« trop de départs avec virage gauche (40% des départs), les nombreuses arrivées sur la piste 01 liées au PRS, et les départs de la piste 19. »*

Ici aussi il est difficile de définir « trop ». Par exemple, la piste 01 n'a pas été plus utilisée à la suite du nouveau PRS (Preferential Runway System) en 2014. Il faut préciser que le PRS est un outil d'aide à la décision pour les contrôleurs et les pilotes, pas un manuel strict sur l'utilisation des pistes. La sécurité et l'optimisation du trafic doit toujours être la priorité. Changer le PRS ne va pas changer la manière dont un avion se comporte avec un vent arrière à l'atterrissage ou au décollage. Même une légère augmentation du vent arrière peut être dangereuse. Le lecteur est invité à lire la section explicative de ce rapport sur [les normes de vent](#). Il y est notamment indiqué que l'ICAO recommande des normes de vent plus strictes que celles en place à Bruxelles.

Le [scénario 8c](#) de notre étude propose une répartition équilibrée des approches sur les pistes non-PRS et le [scénario 9](#) propose une trajectoire de départ alternative aux départs avec virage gauche.

« En 2017, la piste 01 était moins utilisée que les années précédentes, faussant l'analyse de la situation actuelle en minimisant son impact. »

Il y a plusieurs facteurs qui définissent l'utilisation d'une piste. Le premier facteur est le vent, vent arrière et vent de travers. Les manuels d'opération des avions définissent des composantes limites. Les autres facteurs sont les fermetures de piste, les fermetures de taxiway, etc.

Le site batc.be ne propose pas de rose des vents pour l'année 2017 ou les années précédentes, mais la propose pour 2018 et 2019. En 2017, il y a eu 10 992 arrivées sur la piste 01 (9 % des arrivées). En 2018, 16 295 (14%) et en 2019, 8 185 (7%). En comparant les roses de vent correspondant aux années 2018 et 2019, présentées dans les figures ci-dessous, on peut voir que le vent du Nord-Est était beaucoup plus dominant en 2018 qu'en 2019,

doublant ainsi le nombre d'atterrissages sur cette piste par rapport à 2019. Le lecteur est invité à lire la [section explicative sur le vent et le PRS](#) pour plus de détails.

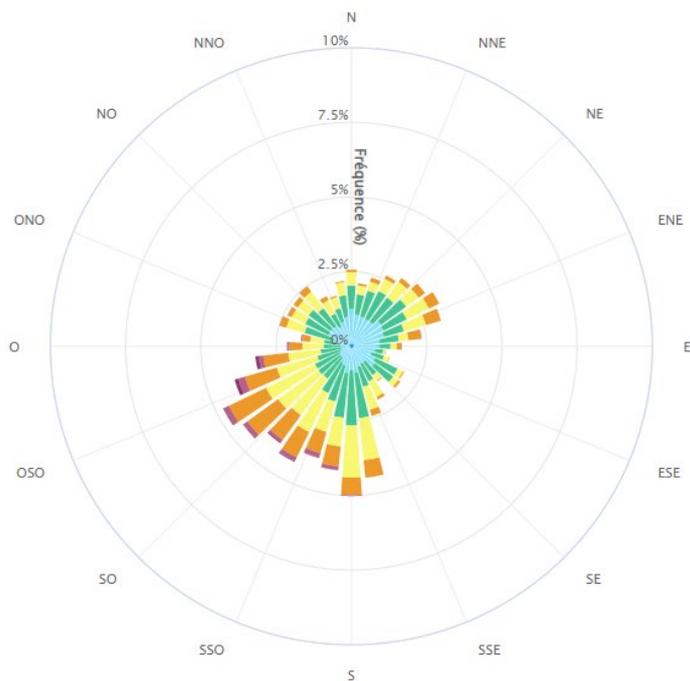


Figure 2 : Rose des vents 2018, source : batc.be

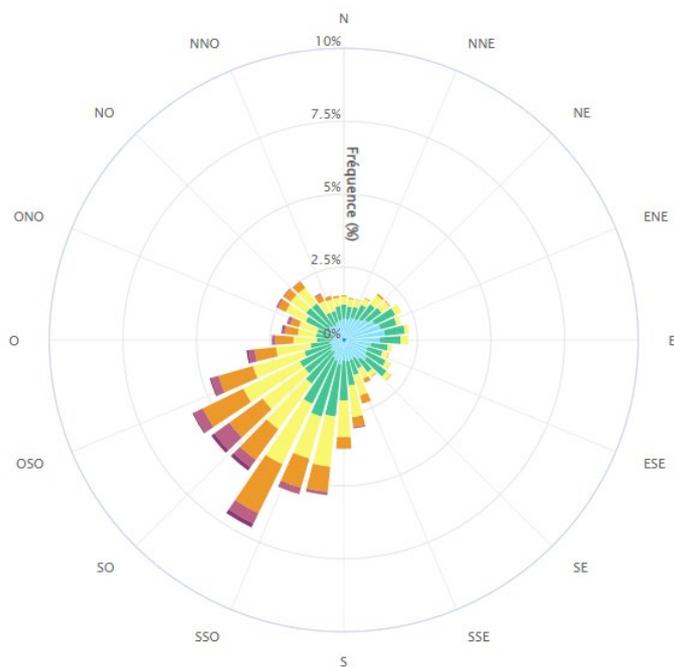


Figure 3 : Rose des vents 2019, source : batc.be

« L'AIP publiée le 19 septembre 2013 (à propos du PRS, avec une limite de vent arrière plus élevée) était licite et devrait être utilisée, alors que celle publiée après (3 avril 2014 et maintenant) ne l'était pas et ne devrait pas être utilisée. »

Se référer à la section [Réponse à une éventuelle modification des normes de vent](#). Il n'existe pas de PRS « illicite » ou « illégal ». Quel que soit le PRS, les pilotes ont des procédures d'opération (SOP, Standard Operation Procedures) qui définissent le montant maximum de vent arrière/vent de travers qu'ils peuvent accepter. Les limites peuvent être assez larges, mais cela ne veut pas dire que le pilote va accepter la limite en situation réelle. La décision finale d'accepter une piste lui revient.

4 RUNWAY REGULATIONS

4.1 Selection of Runway-in-use

The direction in which aircraft take off and land is determined by the speed and direction of the surface wind or by the preferential runway system.

The term "runway-in-use" is used to indicate the runway that - at a particular time - is considered by ATC to be the most suitable for use by the types of aircraft expected to land or take off according to the preferential runway system.

Normally, an aircraft will take off and land into the wind, unless safety, runway configuration or traffic conditions determine that a different direction is preferable. However, in selecting the runway-in-use, ATC shall also take into consideration other relevant factors such as the aerodrome traffic circuits, the length of the runway, the approach and landing aids available, meteorological conditions, aircraft performance, the existence of a preferential runway system and noise abatement.

Accepting a runway is a pilot's decision. If the pilot-in-command considers the runway-in-use not usable for reasons of safety or performance, he shall request permission to use another runway. ATC will accept such request, provided that traffic and air safety conditions permit.

Figure 4 : Extrait de l'AIP de Brussels-National concernant le choix de la piste

« Le PRS ne respecte pas les recommandations de l'OACI ».

Les limites définies par l'OACI sont indiquées dans la section explicative sur le vent, dans les [recommandations officielles](#). Si les normes de vent à Bruxelles suivaient celles de l'OACI, les limites de vent arrière et vent de travers seraient plus strictes.

« Le réseau de sonomètres devrait être élargi sous la trajectoire d'approche de la piste 01 ».

Si les sonomètres sont correctement réglés, cela n'est pas nécessaire. Il y a 5 sonomètres sous la trajectoire d'approche pour la piste 01, dont 2 appartenant à Bruxelles-Environnement et servant à établir les infractions : WSP_Corn (en zone 2) et WSP_Bali (en zone 1) (se référer à la section sur la [comparaison des valeurs mesurées et des valeurs quantifiées](#) pour voir la carte des sonomètres pour lesquels des valeurs ont été comparées).

Source : Bruxelles Environnement, 2019

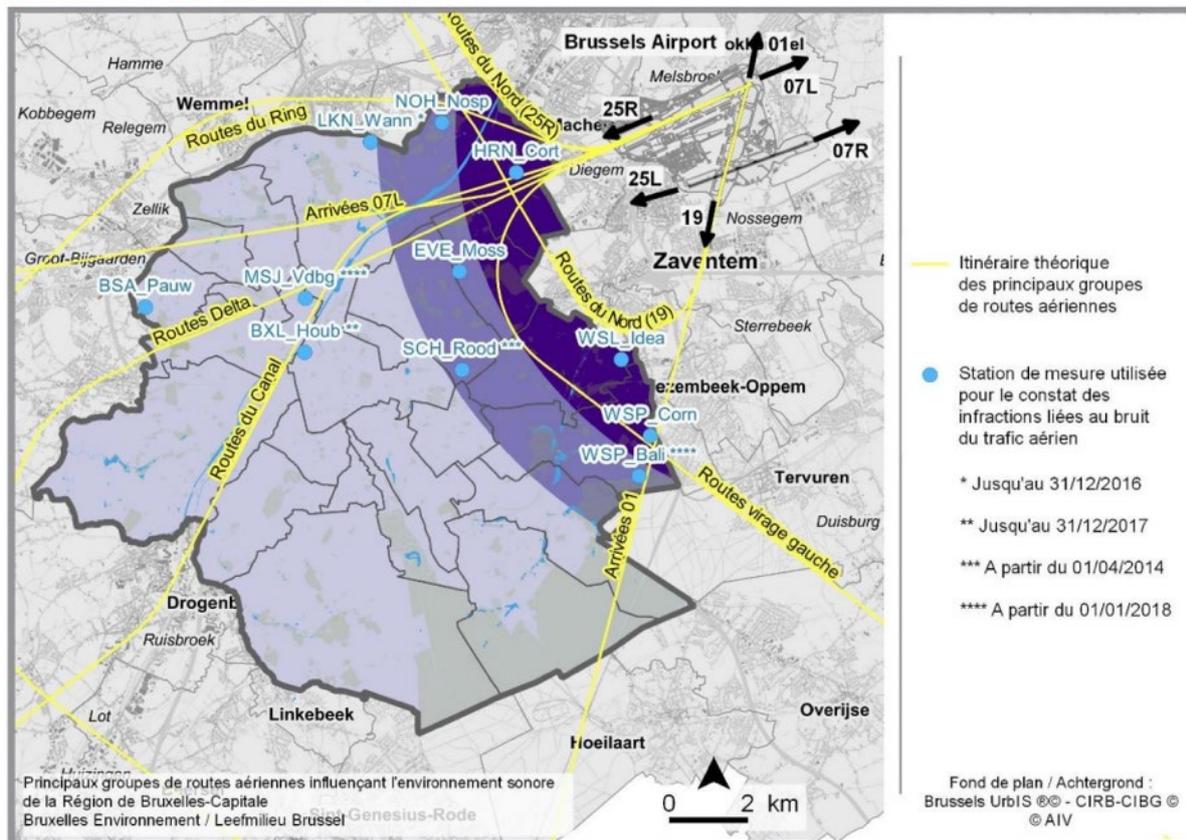


Figure 5 : Stations de mesure de Bruxelles-Environnement utilisées pour le constat des infractions

Analyse des infractions relevées par les sonomètres de Bruxelles-Environnement en 2019 concernant les approches sur la piste 01 :

Avril et mai 2019 sont les mois où en 2019, la piste 01 a été la plus utilisée, avec respectivement 2030 et 1575 atterrissages.

Mouvements aéroportuaires par mois pour cette année

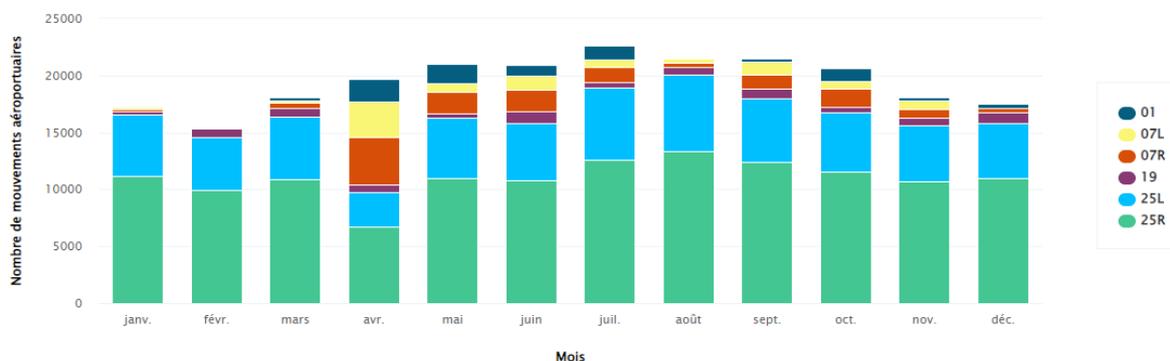


Figure 6 : Mouvements aéroportuaires par mois en 2019, source : batc.be

Les rapports de Bruxelles-Environnement indiquent qu'en avril, les dépassements des valeurs limites pour le sonomètre WSP_Corn n'ont donné lieu à aucune infraction, alors qu'il y a eu 180 infractions liées au dépassement des valeurs limites de WSP_Bali pour les approches sur la piste 01 (dont 169 la nuit). En mai, il y a eu 1 infraction relevée par WSP_Corn et 129 relevées par WSP_Bali (127 dans la période de nuit).

Logiquement, l'explication ne peut pas être que pour cette procédure, les pilotes/les compagnies ont une façon moins précise de voler et arrivent plus bas que ce qui est publié, en sachant également que la distance entre ces 2 sonomètres n'est seulement que d'un kilomètre. Il y a donc trois possibilités :

- La procédure a été mal conçue (en termes de gestion du bruit)
- Le sonomètre n'a pas été réglé correctement
- La limite de décibels définie pour cette zone (zone 1 pour WSP_Bali) est trop basse

Ce déséquilibre se retrouve aussi lorsque l'on compare les infractions pour les départs au niveau des sonomètres HRN_Cort (zone 2) et NOH_Nosp (zone 1). En effet en 2019 il y a eu 59 infractions (51 la nuit) à la suite du dépassement des valeurs limites pour le sonomètre HRN_Cort, et 2 338 (2128 la nuit) pour le sonomètre NOH_Nosp.

L'explication serait donc que la limite de décibels définie pour la zone 1 n'est pas adaptée.

« Une répartition équitable des survols doit être mise en place de manière à ce que les pistes préférentielles 25L/R soient utilisées le plus longtemps possible pour l'atterrissage, dans le strict respect des normes de vent ».

C'est le cas, l'utilisation de la piste 01 résulte des conditions météorologiques défavorables à l'utilisation des pistes préférentielles. En ce qui concerne la répartition équitable des approches sur les pistes non-préférentielles, il est vrai que la piste 01 est la plus utilisée. Le scénario 8b explique pourquoi et modélise une répartition équilibrée des approches sur les pistes non-préférentielles.

La commune de Woluwe-Saint-Pierre dit que « les cartographies ne semblent pas refléter pas la réalité des nuisances subies par les habitants ».

Se référer à la [section sur la comparaison des valeurs mesurées et des valeurs quantifiées](#). Les valeurs quantifiées sont proches des valeurs mesurées en 2017 et 2019, avec un écart moyen d'environ 1 dB(A) pour la métrique Lden.

3.3 Etat belge

« En ce qui concerne les données radars de 2017 examinées par Envisa, nous attirons aussi l'attention sur le fait qu'environ chaque année, des travaux sur les infrastructures de l'aéroport de Bruxelles-National interviennent. Ceux-ci, en fonction de leur nature, peuvent rendre non-représentatif le trafic aérien ayant opéré sur l'aéroport pendant ces périodes. »

Les données radar de 2019 ont été traitées et les contours de bruit pour l'année 2019 ont été modélisés, ceux-ci sont très similaires aux contours de bruit de l'année 2017.

« Quel impact les changements météorologiques ont-ils pu ou peuvent-ils engendrer quant à une utilisation différente des pistes ces dernières années et dans le futur ? »

Se référer à la [section explicative sur le vent et le PRS](#).

« Quelles sont les manières les plus constructives et efficaces de conduire les compagnies à utiliser les avions les plus silencieux (modulation de la taxe d'atterrissage/décollage en fonction du QC, de l'heure de la journée et du jour de la semaine, interdiction pure et simple de dépasser un QC spécifique,...) ? Il est important ici de considérer la situation actuelle et la situation désirée à l'avenir et d'envisager aussi un modèle de transition économiquement et technologiquement viable pour les compagnies. »

Cette question mérite une étude détaillée à part entière. La recommandation serait d'envisager l'introduction d'une forme de « League Table » qui est un outil de communication des performances environnementales des compagnies aériennes dans un aéroport spécifique, basé sur un mélange de données certifiées sur les avions et de critères opérationnels entre l'aéroport et les compagnies aériennes. L'objectif de cette approche est de récompenser les compagnies aériennes qui exploitent des avions performants sur le plan environnemental ainsi que leur flotte de manière respectueuse de l'environnement.

Heathrow dispose de certaines des règles et réglementations les plus strictes au monde en matière de bruit, qui ont joué un rôle majeur dans le développement de technologies réduisant le bruit des avions. Grâce à ces améliorations technologiques, malgré le doublement du nombre d'avions depuis les années 1970, le nombre de personnes se trouvant dans son empreinte sonore a été divisé par dix à LHR.

Les limites et les restrictions, notamment en ce qui concerne les vols de nuit, favorisent l'utilisation des avions les plus performants. Des incitations financières encouragent également les compagnies aériennes à utiliser les avions les plus silencieux grâce à des redevances d'atterrissage variables. Ensemble, ces mesures ont contribué à l'utilisation d'un plus grand nombre d'avions plus silencieux à Heathrow. En moyenne, les avions utilisés par les compagnies aériennes y sont 15 % plus silencieux que l'ensemble des flottes mondiales de ces compagnies.

« Quel est le type de flotte qui fréquente l'aéroport de Bruxelles-National ? Cette flotte est-elle stable ou en progression ? (Y a-t-il de plus en plus d'avions longs courriers, donc de plus gros avions au détriment de plus petits ces dernières années et quelle serait la tendance pour les prochaines années ?) »

Se référer au [scénario 6](#).

« Quels autres paramètres ou éléments (par exemple isolation acoustique des habitations et bâtiments collectifs) pourraient être considérés afin de construire l'image la plus complète possible permettant de comprendre et de répondre à la problématique des nuisances sonores ? »

Parmi les autres paramètres il y a l'isolation acoustique des habitations, la population impactée, le nombre d'habitants potentiellement très gênés, les nouvelles populations exposées au bruit et finalement la fréquence des survols avec une certaine intensité sonore. Il faut aussi prendre en compte la complexité opérationnelle.

« Quel impact sonore a pu avoir la procédure PBN 07L pendant les travaux et le décommissionnement de la balise BUB par rapport à ce qu'un modèle théorique d'utilisation d'une procédure PBN aurait dû générer et les raisons pour lesquelles l'ensemble des gains sonores et en termes de nombre de personnes touchées n'ont pas été atteints

le cas échéant ? Cette situation peut-elle être comparée avec l'utilisation de la procédure conventionnelle VOR Offset. »

Les trajectoires d'approche sur la 07L et les contours de bruit pour la période où la balise BUB a été désactivée en 2019 sont expliqués et présentés dans le [scénario 8b](#).

« Pour les routes de départ, Envisa pourrait-elle analyser les différences au niveau de l'impact sonore qu'a engendré l'utilisation des routes de départ PBN pendant les travaux sur la balise BUB VOR, route par route, et plus spécifiquement l'impact de différences de codage qui est intervenu entre certaines routes du virage gauche de la 25R ? »

Nous avons généré le contour Lden 55db pour la période où la balise BUB a été désactivée (en bleu ci-dessous), comme à la question précédente, pendant la période du 16 août 2019 au 16 septembre 2019. Cette période est équivalente à un mois. Cependant il y a eu plus de vols en été, y compris pendant cette période (21750 mouvements) que pendant un mois théorique ($234000 / 12 = 19500$ mouvements en moyenne par mois sur 2019). Cela se traduit par un contour globalement plus large que le contour Lden 55db calculé pour 2019 (en orange ci-dessous).



Figure 7 : Contours Lden 55 dB de la base 2019 (orange) et de la période de travaux sur la balise BUB (bleu)

Il semble qu'il y ait eu un petit décalage à l'Ouest des routes avec virage gauche montré ci-dessous. Les trajectoires en jaune sont les départs avec virage gauche, établies sur l'année 2019, et les trajectoires en bleu sont les départs avec virage gauche, établies sur la période des travaux de la balise BUB en 2019. Il n'y a pas eu d'impact sur les trajectoires de départ de la 25R qui suivent les autres routes.

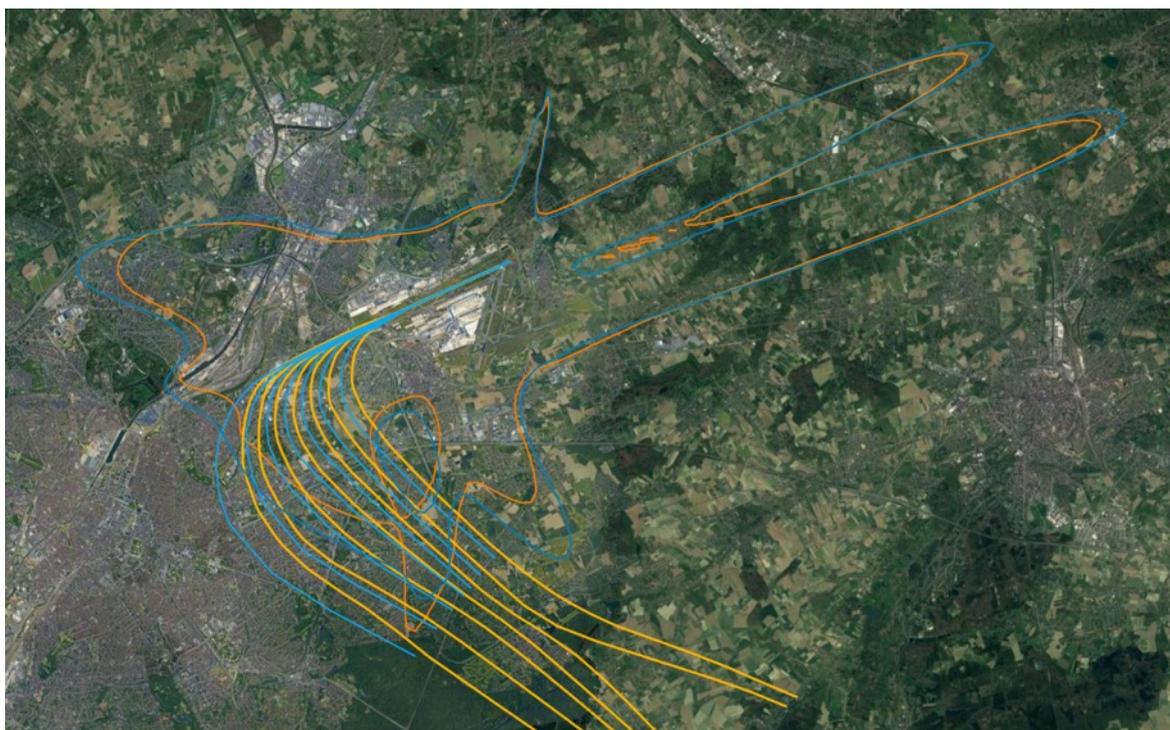


Figure 8 : Contours Lden 55 dB et traces des départs avec virage gauche de la base 2019 (jaune) et de la période de travaux sur la balise BUB (bleu)

Ce décalage des trajectoires contribue en partie à l'élargissement du contour Lden au Nord-Est de Bruxelles sur cette période.

« Pourriez-vous étudier les avantages et inconvénients résultant de la mise en œuvre des actions suivantes ? : L'application à certaines périodes de la journée et de la semaine, d'un profil de montée plus contraignant afin d'amener les avions à donner la priorité à un gain d'altitude et ce, afin de prendre plus rapidement de l'altitude lors de la phase de décollage jusqu'à une altitude x à déterminer (par exemple 4000 pieds) au lieu d'un gain de vitesse sol »

Un profil de montée amenant les avions à un gain d'altitude par rapport à un profil de montée standard est déjà défini dans l'AIP de BRU, dans la partie sur les procédures de départ. La procédure NADP (Noise Abatement Departure Procedure, Procédure de départ avec abatement du bruit) à BRU consiste à monter jusqu'à 3200 ft (1000 m) au-dessus du niveau de la mer avant d'accélérer, avec une réduction de la poussée à 1700 ft (500 m) au-dessus du niveau de la mer. Ce profil de montée plus contraignant existe donc déjà.

4.3 Noise Abatement Take-off and Climb Procedures

The following operational noise abatement take-off procedures must be applied for outbound flights:

For turbo-jet aircraft:

- from take-off to 1700FT QNH:
 - take-off power;
 - take-off flaps;
 - climb to V2 + 10 to 20KT or as limited by body angle;
- at 1700FT QNH:
 - reduce thrust to not less than climb thrust;
- from 1700FT QNH to 3200FT QNH:
 - climb at V2 + 10 to 20KT;
- at 3200FT QNH:
 - accelerate smoothly to en-route climb speed with flaps retraction.

For propeller aircraft:

- from take-off to 1700FT QNH:
 - take-off power;
 - climb at maximum gradient compatible with safety;
 - speed not less than single engine climb speed, nor higher than best rate of climb speed;
- at 1700FT QNH:
 - reduce power to the maximum normal operating power (if this power has been used for showing compliance with the noise certification requirements) or to the maximum climb power;
- from 1700FT QNH to 3200FT QNH:
 - climb at the maximum gradients with reduced power, maintaining constant speed;
- at 3200FT QNH:
 - accelerate smoothly to en-route climb speed.

Figure 9 : Noise Abatement Departure Procedure dans l'AIP de BRU

Les modélisations que nous avons faites utilisent le profil NADP 1/ICAO A pour les départs, qui est presque le même que celui en place à BRU. En effet les avions utilisent la poussée maximale au décollage et montent à vitesse constante jusqu'à 1500 ft (450 m) au-dessus du sol. La poussée est ensuite réduite pour continuer la montée jusqu'à 3000 ft (900 m) au-dessus du sol, avant d'accélérer. Le profil ICAO A complet qui est utilisé dans les modélisations est montré ci-dessous, à côté des profils « Standard » et ICAO B.

Default Procedure ^{xlvii} Modified BBN/AAAI Procedure	ICAO A	ICAO B
Takeoff at MaxToPower (full power) and Climb to 1,000 feet AFE	Takeoff MaxToPower (full power)	Takeoff at MaxToPower (full power)
Pitch over and cutback to climb power. Accelerate to zero flaps retracting flaps on schedule (clean configuration) ^{xlviii}	Climb at constant speed to 1,500 feet AFE	Climb to 1,000 feet AFE and pitch-over to accelerate at full power to clean configuration
Climb at constant speed to 3,000 feet AFE	Reduce thrust to Climb Power	At Clean Configuration, cutback top climb power
	Climb at constant speed to 3,000 ft AFE	Climb at constant speed to 3,000 ft
Upon achieving 3,000 feet AFE, accelerate to 250 KCAS ^{xlviii}	Accelerate while retracting flaps to zero (clean configuration)	Upon achieving 3,000 feet AFE, accelerate to 250 KCAS
	Continue accelerating to 250 KCAS	
Upon achieving 250 KCAS, climb to 10,000 feet AFE	Upon achieving 250 KCAS, climb to 10,000 feet	Upon achieving 250 KCAS, climb to 10,000 feet

Figure 10 : Procédures standard, ICAO A et ICAO B dans le logiciel de modélisation AEDT

« Vous déclarez dans votre étude que : « Les arrivées nocturnes d'avions tels que l'Airbus A330 et les Boeing B777 et B747 ont tendance à avoir une influence significative sur la taille et la forme des contours du bruit. » Est-il envisageable pour les compagnies que le Gouvernement fédéral interdise ce type de vols pendant la nuit ? Quelles seraient les conséquences en matière économique et en terme d'impact sonore ? De manière globale, Envisa peut-elle étudier l'impact qu'aurait la mise en œuvre de nuits silencieuses tous les jours de la semaine au lieu de 3x/semaine pendant la période de minuit à 6h du matin et de 23h à 6h30 du matin, ceci tant au niveau de l'aéroport, que des compagnies aériennes et des activités économiques en général ? »

Des modélisations et des réponses à ces questions sont disponibles dans les scénarios [2a](#), [2b](#) et [2c](#).

« Quelles seraient les normes de vent à appliquer à l'aéroport de Bruxelles-National afin de réduire l'utilisation des pistes non PRS (pistes 01, 07L et 07R) tout en garantissant la sécurité aérienne ? De plus, quels seraient les aspects opérationnels à considérer afin de garantir la sécurité aérienne lors des changements de configurations de pistes ? »

Le PRS est déjà tolérant en ce qui concerne le vent arrière. 7 kt (13 km/h) n'est pas un « petit » vent arrière. Il n'y a pas de « critère de sécurité », les composantes les plus sûres de vent arrière et de vent de travers sont 0 kt. Se référer à la [section Réponse à une éventuelle évolution des normes de vent](#) pour une réponse complète. Le PRS est juste une recommandation et un pilote peut choisir de refuser d'atterrir s'il considère que les conditions de vent ne sont pas bonnes. Si l'on imagine que le PRS incluait une limite de vent arrière de 20 kt pour une piste, l'utilisation des pistes resterait toujours à peu près la même, parce qu'aucun pilote/contrôleur ne voudrait atterrir/faire atterrir sur cette piste dans ces conditions.

3.4 Région de Bruxelles-Capitale

Le Gouvernement de la Région de Bruxelles-Capitale propose « *l'amélioration techniques des pistes, comme le placement d'un EMAS en bout de piste 19* ».

L'EMAS (Engineered Material Arresting System) est un système d'urgence servant à arrêter un avion sortant de piste longitudinalement. Il s'agit d'une surface composée de sable et gravier recouvert de béton friable. Si l'avion venait à sortir de piste, il serait violemment freiné lorsqu'il rentrerait en contact avec l'EMAS.

L'intérêt de ce système est de permettre à un avion de ne pas continuer sa course sur une distance trop grande après la piste. Si un obstacle, une étendue d'eau, une route, des habitations, etc. se situent en bout de piste et qu'un avion venait à sortir de piste, l'EMAS permettrait de le freiner avant qu'il n'entre en contact avec l'obstacle, réduisant ainsi considérablement les risques de pertes humaines et de dégât matériel.

L'EMAS n'est pas une solution anodine pour l'avion, ce système engendrant de lourds dommages au train d'atterrissage de l'appareil. Il s'agit d'un système exclusivement d'urgence, servant de dernier recours pour arrêter un appareil dont la sortie de piste est inéluctable. Cette situation ne peut être le résultat que de graves événements précédant le roulage sur la piste.

D'un point de vue opérationnel normal, l'EMAS ne peut être pris en compte. Il n'est pas possible pour un pilote de considérer une distance d'atterrissage ou d'arrêt décollage supérieure si un EMAS est installé en bout de piste. L'installation d'un EMAS n'aurait donc qu'un impact sécuritaire sur les opérations aériennes, en cas de risque identifié de sortie longitudinale de piste, mais aucune conséquence en termes de bruit.

3.5 Région Flamande

La région Flamande a d'abord émis des remarques concernant le modèle de calcul de bruit appliqué :

« *La dernière version AEDT v. 3c est compatible avec ECAC.Doc 29 4e édition (2016), et fait usage de la base de données ANP v. 2.2 avec entre autres des compléments des types d'avions plus récents (A350-941 en 737-8 Max). Une mise à jour des calculs avec la version la plus récente de AEDT v. 3c peut par conséquent être envisagée* ».

La dernière version d'AEDT, AEDT 3d, qui utilise la base de données ANP v2.3, est utilisée dans cette étude.

« La Région flamande demande que le rapport indique clairement comment la méthode de calcul appliquée avec l'outil AEDT se situe précisément par rapport à la méthode de calcul européenne issue de la Directive (UE) 2015-996 telle que récemment actualisée, et quelles sont les différences dans la méthodologie de calcul des courbes de bruit sur ce plan ».

La méthode de calcul d'AEDT 3d suit la méthode de calcul ECAC.Doc 29 4^{ème} édition, qui a servi à actualiser la directive UE 2015-996, donc la méthode est la même.

« Les données d'entrée sont répertoriées en détail dans L'Appendix A. Dans la section A-1 Weather Data à la page 86, il y a une référence à un standard atmosphère avec une vitesse moyenne de vent de 7,28 knts. Dans l'étude BAC réalisée par L'UGent5 , un vent de face moyen de seulement 4,1 knts a été retenu pour toutes les pistes lors du calcul des courbes de bruit pour l'année 2017. Dans quelle mesure ces différentes valeurs pour la vitesse du vent présumée sont-elles compatibles ? »

Les données météorologiques utilisées dans AEDT pour Bruxelles sont des moyennes, calculées à partir des données qui proviennent de l'Integrated Surface Dataset (ISD), qui pour Bruxelles contient les données météorologiques du METAR de l'aéroport. Pour la modélisation des contours de bruit en 2019, la vitesse moyenne du vent qui est utilisée a une valeur de 7,19 kt. Les données utilisées par l'UGent5 sont celles disponibles via Brussels Airport Company.

« Afin de valider le modèle, la moyenne annuelle des résultats de mesure dans les stations de mesure permanentes de BAC, Bruxelles Environnement et le département 'Omgeving' peut éventuellement être incluse dans une analyse comparative des valeurs mesurées et calculées. »

Les valeurs mesurées ont été comparées aux valeurs quantifiées pour les stations de mesure de l'aéroport et de Bruxelles-Environnement, pour les années 2017 et 2019.

« Par contre, la Région flamande ne peut accepter les propositions visant à modifier certaines données d'entrée du modèle de calcul (par exemple les trajectoires de vol ou d'autres paramètres relatifs aux immissions) en fonction d'une meilleure concordance avec les résultats de mesure. »

Aucun ajustement n'est fait pour modifier les données d'entrée.

4 Explications sur les pratiques opérationnelles et leur impact

4.1 Le vent, le choix des pistes et le PRS

Le PRS, « Preferential Runway System » ou système préférentiel d'utilisation des pistes, de l'aéroport de Brussels-National, est un système de désignation des pistes en service spécifique à cet aéroport visant à définir une trame d'utilisation des pistes, selon l'heure, le jour et les conditions de vent.

Cette partie du rapport a pour objectif de fournir un éclairage sur l'impact du vent sur les opérations aériennes, les menaces attenantes, les principes de fonctionnement d'un PRS ainsi que ses particularités à l'aéroport de Brussels-National. Cette analyse se divise en quatre sous-parties :

- Rappels sur le fonctionnement du vent
- La mesure et l'affichage du vent
- Principes généraux sur le choix des pistes en service
- Explication et analyse du PRS à Brussels-National.

Plusieurs remarques ont été faites par les parties judiciaires et portées à l'intention d'Envisa sur ce sujet du vent et du PRS.

Avant de développer et d'aborder toute considération théorique sur le vent ou toute considération juridique sur les impacts du PRS, il est primordial de rappeler à toutes les parties judiciaires que, quelle que soit la définition actuelle du PRS à Brussels-National, le choix de la piste en service à un instant donné fera toujours et doit toujours faire prévaloir la sécurité avant tout autre facteur. La réduction du bruit pour les riverains doit être un paramètre à prendre en compte dans le choix des pistes en service, mais cet élément ne pourra en aucun cas prendre le dessus sur la sécurité des vols. Il s'agit là d'un des principes fondamentaux de l'aéronautique, que chaque partie prenante se doit de respecter, quel que soit l'aéroport ou le pays.

4.1.1 Rappels sur le vent

Le vent correspond au mouvement d'une masse d'air. S'il n'y a pas de vent au niveau du sol, cela signifie que la masse d'air est immobile par rapport à celui-ci.

4.1.1.1 Les différents vents

Il est important de comprendre dans un premier temps qu'il existe différents types de vents, en fonction de l'altitude. Dans notre cas, les vents les plus intéressants sont ceux de surface, directement mesurés à l'aéroport, et ceux à une altitude d'environ 2000 ft (600 m), correspondant aux vents subis pendant la phase d'approche de l'avion.

Le vent varie selon l'altitude. Dans les couches basses de l'atmosphère, le vent au niveau du sol est généralement plus turbulent et de moindre intensité que le vent en altitude. Cela est causé par la friction avec le sol, les obstacles et les constructions. A une altitude de quelques centaines de mètres, l'intensité du vent augmente car

il y a une réduction des frottements. Par exemple, autour de Bruxelles se trouvent plusieurs collines, réduisant l'intensité du vent au niveau du sol.

De plus, dans l'hémisphère Nord, il change légèrement de direction, dans le sens horaire, lorsque l'on gagne en altitude. Durant la phase d'approche, lorsque l'avion perd de l'altitude, le vent aura donc généralement tendance à tourner dans le sens antihoraire.

D'autres phénomènes surviennent et différents vents existent lorsque l'on monte au-delà du « vent à 2000 ft », mais ces vents ne nous concernent pas dans le cadre de cette étude.

Le vent qui est rapporté sur un aéroport, que ce soit par le METAR, l'ATIS ou le contrôleur, est le vent de surface, directement mesuré au niveau du sol. Il ne s'agit pas du vent à 2000 ft qui, comme nous venons de le dire, est généralement de plus grande intensité et d'une direction légèrement différente.

Bien que chaque situation soit différente selon les conditions météo, une règle approximative nous dirait que le vent au tout début de la phase d'approche est environ 50% plus élevé, de jour, que le vent mesuré au niveau du sol.

4.1.1.2 Les caractéristiques du vent

Le vent est communément représenté par deux nombres : la direction de provenance et sa vitesse. La direction est exprimée en degrés – par exemple, 270° signifie que le vent vient de l'Ouest – et sa vitesse en kt (kt). Ces deux données peuvent être représentées graphiquement par un vecteur, lui-même divisible en deux composantes : le vent de face ou arrière et le vent de travers.



Figure 11 : Décomposition des vecteurs de vent

Le vent représente le mouvement de l'air. Un avion est un objet se déplaçant lui-même dans cet air, donc tout mouvement de la masse d'air par rapport au sol vient s'ajouter aux mouvements de l'avion à l'intérieur de cette masse d'air. Le fonctionnement est très similaire à celui d'un bateau pris dans du courant : le bateau se déplace sur l'eau, et l'eau elle-même se déplace par rapport à la rive. Le mouvement du bateau final par rapport à la rive est donc la somme des vecteurs de son mouvement et de celui de l'eau.

Un aéronef peut exprimer sa vitesse par rapport à deux référentiels : l'air et le sol. Quand nous parlons de vitesse par rapport à l'air (appelée vitesse propre), il s'agit de la vitesse de l'aéronef dans la masse d'air, indépendamment du mouvement de cette masse d'air par rapport au sol – et donc indépendamment du vent. Quand nous parlons de vitesse sol, il s'agit de la vitesse de l'avion par rapport au sol, qui est la résultante de son vecteur de trajectoire par rapport à l'air et du vecteur vent.

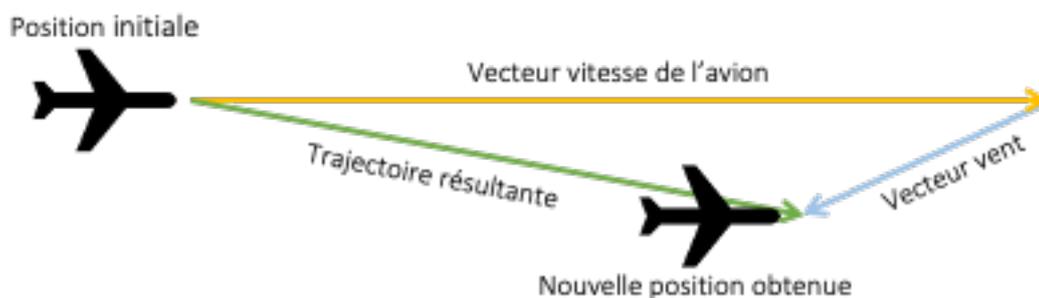


Figure 12 : Trajectoire air et trajectoire sol

4.1.1.3 Les caractéristiques du vol associées

Pour voler, un avion a besoin de « vitesse air ». C'est ce paramètre qui est piloté. La vitesse sol est quant à elle « subie ». Lorsque la « vitesse air » est faible, l'avion est proche du décrochage. C'est pourquoi lors des phases de décollage ou d'atterrissage, où cette vitesse est faible, le contrôle de ce paramètre est primordial.

Une approche sur une piste s'effectue à une « vitesse air » calculée, représentant un paramètre fixe qu'il est primordial de tenir constant durant la phase finale de l'approche. Ce paramètre est calculé selon les conditions du jour et notamment le poids de l'avion. La « vitesse sol » qui en résulte est subie – elle n'a d'ailleurs pas d'impact direct sur la capacité de vol de l'avion. Cependant, durant l'approche, le vent devient un paramètre critique à surveiller car il a un impact majeur sur les performances de l'appareil en termes de tenue de plan, d'axe, et de distance d'arrêt.

4.1.1.4 Le vent de face

La composante de vent de face est la composante du vecteur vent ressentie dans l'axe longitudinale de l'avion, de l'avant vers l'arrière. Le vent étant rarement parfaitement parallèle à cet axe, cette composante est généralement dérivée grâce à un simple calcul trigonométrique :

$$\text{Composante vent de face} = \text{Vitesse du vent} \times \cos(\text{angle du vent par rapport à l'axe longitudinal de l'avion})$$

Si le vent souffle à 90° par rapport à l'axe de l'avion, sa composante vent de face sera nulle ($\cos(90^\circ) = 0$). Si l'avion suit un cap Nord et que le vent souffle à 20 kt depuis le 030°, donc qu'il vient de 30° à droite du nez de l'avion, la composante de vent de face est alors de $20 \times \cos(30^\circ) \approx 17$ kt.

Le vent de face ralentit un avion par rapport au sol. Cela signifie que sa « vitesse sol » est plus faible que sa « vitesse air ». Dans l'exemple précédent, si l'avion évolue à 150 kt en vitesse air, sa vitesse sol sera de 133 kt car il subit une composante de vent de face de 17 kt.

Lors des phases de décollage et d'atterrissage, le vent de face est un atout car l'aéronef nécessite une longueur de piste réduite pour les phases d'accélération et de freinage. Au décollage, le vent de face permet également d'avoir un gradient de montée plus élevé : la « vitesse sol » étant plus faible, l'avion parcourt moins de distance

par rapport au sol pour un même taux de montée. Cela permet d'atteindre une altitude plus élevée pour un point donné de la procédure de départ.

Au sol, pour les phases de décollage et d'atterrissage, le vent de face est donc la composante de vent parallèle à l'axe de piste, soufflant dans la direction opposée au sens du départ ou de l'arrivée.

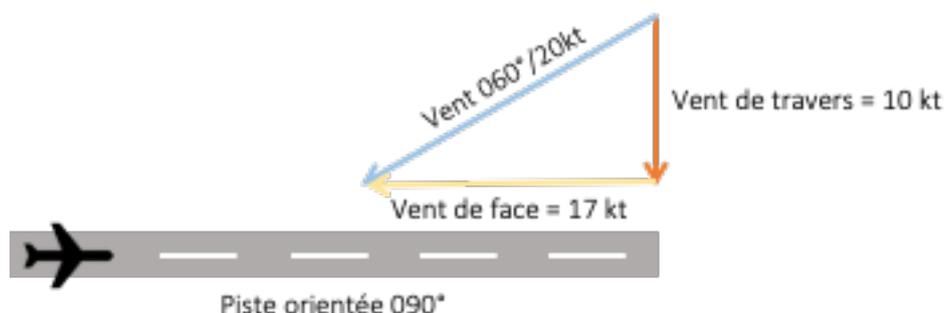


Figure 13 : Composantes de vent sur piste – Vent de face

4.1.1.5 Le vent arrière

La composante « vent arrière » se calcule exactement de la même façon que celle pour le vent de face, mais le vent dans ce cas provient d'un secteur arrière.

$$\text{Composante vent arrière} = \text{Vitesse du vent} \times \cos(\text{angle du vent par rapport à l'axe longitudinal de l'avion})$$

Si la trajectoire est orientée au cap Nord, avec un vent provenant de la direction 150°, cela représente un angle au vent de 30° secteur arrière. Pour 20 kt de vitesse du vent, la composante arrière sera de 17 kt. Le vent arrière augmente la « vitesse sol » par rapport à la « vitesse air ». Si l'avion vole à 150 kt en « vitesse air », sa « vitesse sol » serait alors de 167 kt.

Lors des phases de départ et d'arrivée, le vent arrière a donc pour effet de rallonger les distances de piste nécessaires. De plus, les gradients de montée sont plus faibles au départ, et le suivi des plans d'approche est plus difficile lors des arrivées.

Au sol, pour le décollage ou l'atterrissage, le vent arrière est donc la composante de vent parallèle à l'axe de piste, soufflant dans la direction du sens du départ ou de l'arrivée.



Figure 14 : Composantes de vent sur piste – Vent arrière

4.1.1.6 Le vent de travers

Le vent de travers est la composante de vent soufflant perpendiculairement à l'axe longitudinal de l'avion. Il se calcule également de manière simple grâce à un peu de trigonométrie :

$$\text{Composante vent de travers} = \text{Vitesse du vent} \times \sin(\text{angle du vent par rapport à l'axe longitudinal de l'avion})$$

Si le vent souffle parallèlement à l'axe longitudinal de l'avion (qu'il est donc pleinement de face ou arrière), l'angle au vent est de 0° et la composante vent de travers est de zéro ($\sin(0^\circ) = 0$)

Si l'angle au vent est de 45° pour une force de 20 kt, la résultante vent de travers sera de $20 \times \sin(45^\circ) \approx 14$ kt.

Le vent de travers a un impact sur la route suivie par l'avion. Tout comme le courant impacte le cap suivi par un bateau, le vent de travers oblige un avion à changer son cap pour avancer dans une direction donnée. Si le vent vient de la droite, l'avion doit prendre un cap légèrement plus à droite s'il veut continuer à aller tout droit. Cet effet est d'autant plus marqué que la vitesse de l'avion est faible et que la force du vent est élevée. Vu depuis le sol, l'avion semble donc avancer légèrement de travers, « en crabe ».

Ce phénomène est particulièrement visible lors d'une approche par fort vent de travers : on observe les avions descendant vers la piste, leur axe longitudinal non aligné avec celui de la piste. Leur nez est orienté vers le vent, afin de rester sur l'axe de la piste.

Afin de ne pas exercer trop de contrainte sur le train d'atterrissage, la plupart des avions ont besoin de « décrocher », c'est-à-dire de ramener l'axe longitudinal de l'avion dans l'axe de la piste, juste avant que les roues touchent le sol. Cette action est réalisée manuellement par le pilote. Bien qu'elle soit considérée comme normale, elle reste délicate et sa complexité est proportionnelle à l'intensité du vent et à celles des rafales. Le vent de travers est généralement considéré comme une menace par un équipage.

Au sol, pour le décollage ou l'atterrissage, le vent de travers est donc la composante de vent perpendiculaire à l'axe de piste.

4.1.1.7 Les rafales

La force et la direction ne sont pas les seuls facteurs liés au vent affectant les performances et la stabilité d'un avion lors de son décollage ou son atterrissage. Les rafales de vent sont généralement considérées comme une menace par les équipages.

En langage aéronautique, une rafale a une définition bien précise : une augmentation de la vitesse maximale du vent d'au moins **5 kt** par rapport à la vitesse moyenne mesurée, et ce pendant **3 secondes** (définition expliquée plus bas).

Lorsque le vent est laminaire et constant, il est plus facile pour un pilote de se positionner dans ce vent pour gérer sa trajectoire d'arrivée ou de départ. Une fois les corrections associées à ce vent effectuées, il n'a plus qu'à les garder constantes. Lorsque le vent est changeant et accompagné de rafales, l'avion est constamment dévié de sa trajectoire, et garder cette dernière constante devient plus difficile. Une rafale de vent a un fort effet déstabilisateur. Elle correspond à un accroissement ponctuel du vent et vient donc perturber la correction appliquée à la trajectoire sans rafale. Les rafales créent donc une augmentation de la charge de travail dans les cockpits.

Dans certains cas de vent fort accompagné de rafales, typiquement dans des situations d'orages, de fronts actifs, ou de situations dépressionnaires marquées, il arrive que l'action déstabilisatrice de ces rafales soit tellement forte que les remises de gaz s'enchaînent sur une piste donnée, bien que le vent soit pourtant considéré comme dans les limites prescrites par les constructeurs ou les opérateurs pour ces avions.

4.1.2 La mesure du vent de surface

L'annexe 3 de l'OACI sur les Services Météorologiques pour la Navigation Aérienne Internationale donne des définitions sur la mesure du vent.

Le vent de surface est, par définition, le vent rencontré sur ou juste au-dessus de la piste. Selon l'Annexe 3, « *il est recommandé que les observations du vent de surface soient faites à une hauteur de 10 ± 1 m (30 ± 3 ft) au-dessus du sol.* »

De plus, « *il est recommandé que les observations représentatives du vent de surface soient effectuées au moyen de capteurs situés en des emplacements appropriés. Les capteurs utilisés pour les observations du vent de surface effectuées aux fins des messages d'observations régulières et spéciales locales devraient être situés de façon à fournir la meilleure indication possible des conditions le long de la piste et dans la zone de toucher des roues. Aux aérodromes où la topographie ou les conditions météorologiques prédominantes sont la cause d'importantes différences du vent de surface sur les diverses parties de la piste, il est recommandé d'installer des capteurs additionnels.*

Note – Étant donné qu'il n'est pas possible en pratique de mesurer le vent de surface directement sur la piste, les observations du vent de surface pour le décollage et l'atterrissage devraient représenter la meilleure indication réalisable des vents qu'un aéronef rencontrera au cours du décollage et de l'atterrissage. »

A Brussels-National, le vent est mesuré grâce à 4 anémomètres situés proches des pistes. Pour une piste donnée, les données de vent sont fournies par l'anémomètre le plus proche de cette piste. Ces anémomètres sont visibles sur le site internet de BATC et l'image suivante indique leurs emplacements.

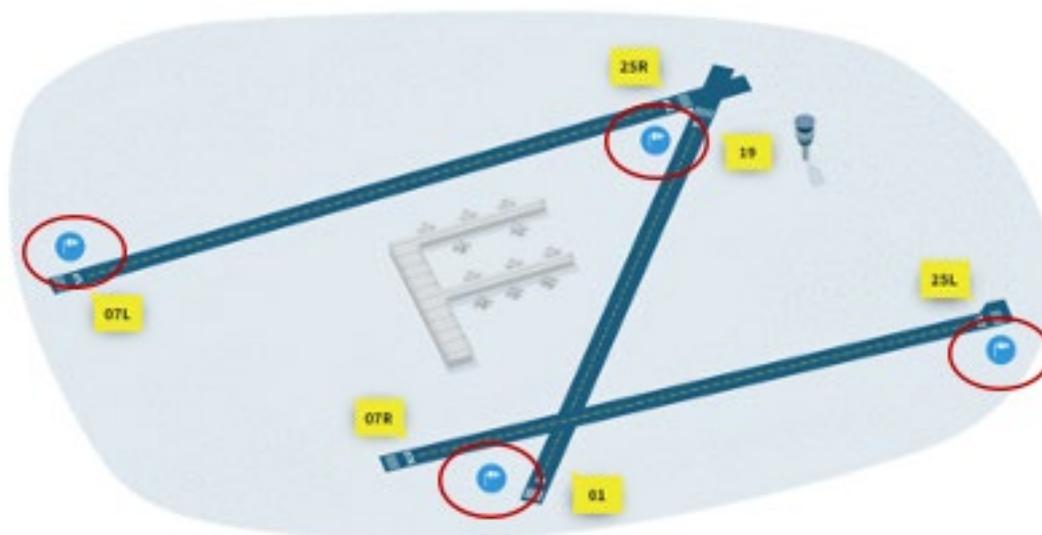


Figure 15 : Emplacements des anémomètres pour la mesure du vent

Le vent est fourni par le METAR, l'ATIS, ou le contrôleur au moment où les clairances de décollage et d'atterrissage sont émises ou à la demande de n'importe quel pilote. Il peut également être estimé en observant les manches à air situées sur l'aéroport, bien que cette estimation ne soit qu'une aide complémentaire.

Le vent est rapporté en dizaine de degrés pour la direction, et en kt (nœuds) arrondis à l'unité pour la vitesse.

4.1.2.1 Moyenne des observations du vent

Cas du METAR

Sur un METAR, le vent reporté est censé être la moyenne des observations effectuées sur **10 minutes**, comme le précise l'Annexe 3 de l'OACI :

« La période d'établissement de la moyenne des observations du vent de surface sera de 10 minutes pour les METAR et les SPECI ; toutefois, si la direction ou la vitesse du vent présente une discontinuité marquée au cours de cette période de 10 minutes, seules les données observées depuis cette discontinuité serviront à l'établissement de la moyenne, et la période d'établissement de la moyenne sera réduite en conséquence. »

Note – Il y a une discontinuité marquée lorsqu'il se produit un changement brusque et soutenu de direction du vent de 30° ou plus, avec une vitesse du vent de 5 m/s (10 kt) avant ou après ce changement, ou un changement de vitesse du vent de 5 m/s (10 kt) ou plus, durant au moins 2 minutes. »

Dans cette définition, une « discontinuité marquée » ne fait pas référence à une rafale, mais à une variation du vent, comme l'explique la définition fournie dans la note ci-dessus.

Cas de l'ATIS et de l'affichage ATS

L'Annexe 11 de l'OACI sur les Services de la Circulation Aérienne et spécifie que les renseignements météorologiques de l'ATIS soient « *extraits des messages d'observations météorologiques régulières ou spéciales locales.* » L'Annexe 3 de l'OACI précise ainsi que la moyenne des observations du vent dans ce cas est effectuée sur **2 minutes** :

« *La période d'établissement de la moyenne des observations du vent de surface sera de 2 minutes pour les messages d'observations régulières et spéciales locales et pour les affichages du vent situés dans les locaux des organismes ATS.* »

Cela signifie également que le vent est représenté aux contrôleurs en étant moyenné sur 2 minutes, et que c'est cette valeur qui est fournie lors de l'édition des messages ATIS. Il est cependant courant que les services ATS aient également à disposition un affichage donnant la mesure du vent instantané à titre d'information.

4.1.2.2 Définition officielle d'une rafale

Le concept de la rafale a déjà été rappelé plus haut. Ici nous allons rappeler comment une rafale est précisément définie du point de vue de la mesure du vent.

L'OACI, dans l'Annexe 3, nous donne les éléments suivants :

« 4.1.5.2 c) *Les variations par rapport à la vitesse moyenne du vent (rafales) au cours des 10 dernières minutes seront signalées lorsque la vitesse maximale du vent dépasse la vitesse moyenne :*

- 1) *D'au moins 2,5 m/2 (5 kt) dans les messages d'observations régulières et spéciales locales et que des procédures antibruit sont utilisées en application des PANS-ATM (Doc 4444) ; ou*
- 2) *D'au moins 5 m/s (10 kt) dans les autres cas.* »

En ce qui concerne l'aéroport de Brussels-National, nous nous trouvons dans le premier cas stipulé ici. De plus, la recommandation suivante est émise :

« *Il est recommandé que la période d'établissement de la moyenne pour la mesure des variations de la vitesse moyenne du vent (rafales) signalées selon l'alinéa c) du § 4.1.5.2 soit de 3 secondes pour les messages d'observations régulières locales, les messages d'observations spéciales locales, les METAR, les SPECI et les affichages de vent utilisés dans les locaux des organismes des services de la circulation aérienne pour indiquer les variations par rapport à la vitesse moyenne du vent (rafales).* »

La définition d'une rafale selon l'OACI est donc une augmentation de la vitesse maximale du vent d'au moins **5 kt** par rapport à la vitesse moyenne mesurée, et ce pendant **3 secondes**. Cette définition est valable pour toute information de vent, qu'elle provienne du METAR, de l'ATIS ou directement du contrôleur.

4.1.3 Choix de la piste en service – Principes généraux

4.1.3.1 Principes théoriques

Un avion a besoin de portance pour décoller. Cette portance est générée par l'écoulement de l'air le long des ailes. Dans un environnement sans aucun vent, la masse d'air est fixe par rapport au sol. Le seul moyen de générer un écoulement d'air autour de l'aile est donc grâce à la vitesse de l'avion, le déplacement au sein de la masse d'air générant un « vent relatif ».

Ainsi, pour décoller, l'avion va accélérer sur la piste et atteindre une vitesse qui générera suffisamment de portance pour permettre l'envol. Comme expliqué précédemment, ce n'est pas la vitesse par rapport au sol qui importe, mais celle par rapport à l'air. Un avion roulant à la vitesse de 10 kt sur un taxiway, avec un vent arrière de 10 kt également, a un vent relatif de 0 kt. Il n'y a alors aucun écoulement d'air sur les ailes. Pour compenser ce vent arrière, s'il devait décoller dans ces conditions, sa vitesse sol devrait être supérieure de 10 kt à celle habituellement obtenue lors d'un décollage sans vent. Pour une vitesse de rotation¹ (ici arbitraire) de 140 kt, l'avion doit évoluer à 150 kt par rapport au sol.

A l'inverse, un avion roulant à 10 kt au sol avec un vent de face de 10 kt expérimente un vent relatif de 20 kt sur ses ailes. Pour une vitesse de rotation de 140 kt, l'avion a une vitesse de 130 kt par rapport au sol.

Lors de l'atterrissage, la même logique s'applique : pour une vitesse d'approche (ici arbitraire) de 140 kt, l'avion n'est qu'à 130 kt en vitesse sol s'il a 10 kt de vent de face, mais à 150 kt en vitesse sol s'il expérimente 10 kt de vent arrière.

Lors de ces phases de décollage et d'atterrissage, il est important de minimiser la vitesse de l'avion par rapport au sol tout en maximisant celle par rapport à l'air. C'est pourquoi les avions décollent et atterrissent toujours, dans la mesure du possible, avec une composante de vent de face. **Il est surtout important de minimiser le vent arrière**, ceci pour plusieurs considérations de sécurité qui seront expliquées dans la suite de ce chapitre.

Le choix de la piste en service ne dépend cependant pas uniquement du vent, d'autres paramètres entrent en considération dans le choix de la piste en service, tels que (liste non exhaustive) :

- La disponibilité des procédures d'approche
- L'évitement d'obstacles, temporaires ou non
- L'évitement de conditions météorologiques particulières (par exemple des cisaillements de vent, ou des cumulonimbus)
- Les travaux en cours sur les pistes et taxiways
- L'évitement de zones densément peuplées et les émissions sonores pour les riverains

Une liste des éléments pris en compte l'aéroport de Brussels-National est fournie ici : <https://www.batc.be/fr/pistes-en-usage/le-choix-des-pistes/comment-les-pistes-sont-elles-choisies>

4.1.3.2 Choix de la piste en service – Recommandations officielles

¹ Lors du décollage, vitesse indiquée à laquelle le pilote tire sur le manche pour que l'avion quitte le sol

Dans son Doc 4444 – Gestion du trafic aérien (16^{ème} édition, 2016), l'OACI publie ses recommandations quant au choix de la piste en service. Le détail des parties nous intéressant est fourni ici :

« L'expression « prise en service » sera utilisée pour désigner la piste ou les pistes qui, à un moment donné, sont considérées par la tour de contrôle d'aérodrome comme étant celles qui conviennent le mieux aux types d'aéronefs qui doivent atterrir à l'aérodrome ou en décoller. »

« Normalement, un aéronef atterrira et décollera face au vent, à moins que la sécurité, la configuration de la piste, les conditions météorologiques et les procédures d'approche aux instruments disponibles ou les conditions de la circulation aérienne ne rendent préférable une autre direction. Toutefois, pour choisir la piste en service, l'organisme assurant le contrôle d'aérodrome prendra en considération, outre la vitesse et la direction du vent à la surface, d'autres facteurs tels que : circuits d'aérodrome, longueur des pistes, aides à l'approche et à l'atterrissage utilisables. »

« Une piste pour le décollage et l'atterrissage, appropriée à l'exploitation, peut être désignée aux fins de l'atténuation du bruit, l'objectif étant d'utiliser autant que possible les pistes qui permettent aux avions d'éviter les zones sensibles au bruit au cours des phases de départ initial et d'approche finale du vol. »

« En principe, une piste ne devrait être choisie aux fins de l'atténuation du bruit à l'atterrissage que si elle est équipée d'un dispositif de guidage approprié sur la pente de descente, par exemple un ILS ou, pour l'exploitation en conditions météorologiques de vol à vue, un indicateur visuel de pente d'approche. »

« Un pilote commandant de bord peut, pour des raisons de sécurité, refuser une piste proposée aux fins de l'atténuation du bruit »

« L'atténuation du bruit ne sera pas un facteur déterminant pour la désignation des pistes dans les circonstances suivantes :

- a) *Si l'état de la surface de la piste est compromis (par exemple présence de neige, de neige fondante, de glace, d'eau, de boue, de caoutchouc, d'huile ou d'autres substances) ;*
- b) *Pour l'atterrissage :*
 1. *Si la hauteur du plafond est inférieure à 150 m (500 ft) au-dessus de l'altitude topographique de l'aérodrome ou si la visibilité est inférieure à 1900 m ; ou :*
 2. *Si l'approche impose d'utiliser des minimums verticaux supérieurs à 100 m (300 ft) au-dessus de l'altitude topographique de l'aérodrome et :*
 - i. *Si la hauteur du plafond est inférieure à 240 m (800 ft) au-dessus de l'altitude topographique de l'aérodrome ; ou :*
 - ii. *Si la visibilité est inférieure à 3000 m ;*
- c) *Pour le décollage, si la visibilité est inférieure à 1900 m ;*
- d) *Si un cisaillement de vent a été signalé ou prévu ou si l'on prévoit que des orages auront une incidence sur l'approche ou le départ ;*
- e) *Si la composante transversale du vent, y compris les rafales, dépasse 28 km/h (15 kt) ou si la composante vent arrière, y compris les rafales, dépasse 9 km/h (5 kt). »*

L'OACI précise un principe général qui est le même que celui cité plus haut : le choix de la piste en service doit permettre des décollages et atterrissages avec une composante de vent de face, sauf quand d'autres éléments opérationnels, de sécurité ou météorologiques encouragent à faire autrement. De plus l'OACI se penche sur la question du bruit et précise bien que le choix des pistes peut se faire afin d'atténuer le bruit pour les zones habitées autour de l'aéroport, comme cela est le cas à l'aéroport de Bruxelles.

L'OACI précise également les conditions dans lesquelles le bruit ne pourrait plus être un critère de sélection des pistes. Parmi celles-ci figurent un certain nombre de conditions météorologiques de visibilité et de plafond

nuageux, ainsi que des conditions d'état des pistes. **Concernant le vent, les limites recommandées par l'OACI sont les suivantes :**

- **Vent de travers : 15 kt maximum (rafales comprises)**
- **Vent arrière : 5 kt maximum (rafales comprises)**

4.1.3.3 Impact sécuritaire du vent arrière sur les procédures de décollage et d'atterrissage

Nous allons nous pencher ici sur les aspects de sécurité liés à une composante de vent arrière sur les pistes. Nous parlons principalement ici du vent mesuré au niveau du sol et fourni par le contrôleur ou l'ATIS. Un vent arrière entraîne plusieurs menaces, principalement liées aux performances de l'appareil et à la longueur de piste disponible – Lors d'une procédure de décollage/atterrissage, l'équipage calcule la distance de piste nécessaire théorique. Celle-ci peut augmenter significativement, de plusieurs centaines de mètres selon le type d'appareil, en cas de vent arrière significatif. Une longueur de piste nécessaire plus grande implique une marge de sécurité plus faible en cas d'erreur ou de défaillance d'un système lors de ces phases. Les risques qui en découlent sont de plusieurs types, et apparaissent principalement en cas d'arrêt du décollage (par exemple si une panne intervient lors de la course au décollage) ou lors de l'atterrissage.

Risque de sortie longitudinale de la piste – du fait d'une marge de sécurité plus faible (c'est-à-dire une longueur de piste théorique restante pour arrêter l'appareil plus faible). Ce risque se concrétiserait en cas d'événement additionnel, heureusement rare, tel qu'une erreur de pilotage ou la défaillance d'un système critique pour cette phase du vol.

Risque d'échauffement des freins – afin de minimiser la diminution de cette marge de sécurité évoquée, il est courant que l'équipage choisisse un niveau de freinage automatique plus élevé en cas de vent arrière. Cela implique une plus forte sollicitation des freins si l'on garde les autres paramètres constants (tels que l'utilisation des inverseurs de poussée). Les freins s'échauffent alors davantage et peuvent même surchauffer, amenant plusieurs conséquences :

- Dans un cas extrême, l'échauffement peut être tel qu'une intervention des services de sauvetage et de lutte contre l'incendie est nécessaire. Dans ce cas, un feu est à craindre au niveau du train d'atterrissage, voir même un risque d'explosion du pneu.
- Dans un cas moins extrême, l'échauffement des freins peut imposer un temps de refroidissement obligatoire avant que l'appareil ne puisse repartir. La durée nécessaire au refroidissement peut souvent être supérieure au temps d'escale escompté dans le cas de vols court et moyen-courrier, ce qui entraîne un retard et une légère perturbation des opérations.

Prise en compte de l'état de la piste – Le vent n'est pas le seul élément impactant les performances. L'état de la piste (mouillée ou contaminée par exemple) est un facteur majeur dans le calcul des performances de décollage et d'atterrissage, car il a un impact considérable sur les capacités de freinage d'un avion. Ainsi, ajouter une composante de vent arrière à une piste non sèche, voir contaminée, représente une sérieuse menace et impacte grandement les performances des appareils – les menaces s'additionnent. Les conséquences peuvent être telles que les équipages demanderont un changement de piste afin de supprimer la composante de vent arrière et la menace associée et ainsi garantir une marge de sécurité raisonnable.

4.1.3.4 Gestion de la menace vent arrière

Les pilotes sont chargés d'atténuer la menace vent arrière. En situation normale, ils optimiseront les paramètres du décollage ou de l'atterrissage (puissance moteur, vitesses, niveau de freinage automatique) afin de garantir une marge de sécurité raisonnable.

En situation anormale, à la suite d'une panne ou un problème quelconque, un appareil peut être amené à devoir se poser rapidement. Le vent arrière devient une menace qui s'ajoute à cette situation, notamment dans le cas :

- D'un atterrissage au-delà ou proche de la masse maximale autorisée. Certaines situations peuvent nécessiter un retour rapide après le décollage (urgence médicale, feu et/ou fumée, etc.), et tous les appareils n'ont pas la possibilité de se délester d'une partie de leur carburant en vol. Ils doivent donc parfois atterrir à une masse élevée, donc à une vitesse air également supérieure. Le vent arrière vient s'ajouter à cette vitesse air, pour aboutir à une vitesse sol très importante, génératrice des risques évoqués plus haut.
- D'une situation technique dégradée de l'appareil. Des pannes de différentes natures peuvent venir impacter la maniabilité et la capacité à s'arrêter rapidement sur la piste. Ici encore, le vent arrière vient amplifier les menaces associées.

4.1.3.5 Impacts environnementaux et sonores du vent arrière

Chaque nœud de vent arrière supplémentaire entraînera une utilisation légèrement supérieure des moteurs des avions, que ce soit pour le décollage ou l'atterrissage, comme expliqué ci-dessous. Cet accroissement des régimes moteurs, et donc des émissions sonores, est extrêmement variable selon le type d'appareil et de moteur, les conditions atmosphériques ainsi que l'état de la piste. Il est donc difficile de quantifier précisément l'impact ici. Bien que ces éléments soient notables, il est important de garder à l'esprit que la recherche d'une minimisation du vent arrière dans les opérations aériennes normales est quasi exclusivement dû à la sécurité des vols, principe beaucoup plus impactant que les considérations environnementales dans ce cadre-là.

Décollage

Généralement, un avion de ligne n'utilisera pas la pleine puissance de ses moteurs pour décoller. L'équipage calculera en amont, selon les conditions du jour, une puissance moteur réduite (si les conditions d'état de piste et de vent l'autorisent). L'avion accélérera plus lentement et utilisera plus de longueur de piste pour l'envol. Cependant, cette procédure présente plusieurs avantages : une usure réduite des moteurs, une réduction de la consommation du carburant et une réduction du bruit.

Moins de vent de face amène à moins réduire la puissance moteur afin de garantir des distances de décollage, et surtout d'accélération-arrêt toujours compatibles avec la piste en service. Plus de vent arrière a donc exactement le même effet, et entraîne une légère augmentation du régime moteur nécessaire au décollage, et donc une augmentation de la consommation de carburant et du bruit émis.

Durant la montée, le vent arrière entraîne une pente de montée plus faible, c'est-à-dire que pour atteindre une altitude donnée, la distance parcourue par rapport au sol sera supérieure. Donc pour un point donné, l'altitude sera plus faible et le bruit émis supérieur.

Atterrissage

Le vent arrière peut entraîner une plus forte utilisation des inverseurs de poussée d'un avion. Ce système permet à un appareil de rediriger le flux des moteurs vers l'avant, permettant de ralentir l'appareil. Ils peuvent être utilisés au ralenti quand cela est possible, afin de réduire la consommation de carburant et le bruit qu'ils génèrent.

Cependant, comme expliqué plus haut, en cas de vent arrière, les freins sont davantage sollicités pour une même utilisation des inverseurs de poussée. Afin de soulager cet effort supplémentaire, et si la piste s'avère de plus être non sèche, l'équipage peut choisir d'utiliser davantage les inverseurs, en allant au-delà du seuil de ralenti. Cela engendre une augmentation du régime des moteurs, et a donc pour conséquence une augmentation de la consommation de carburant et une augmentation du bruit pour les zones directement attenantes à l'aéroport.

Approche

Lorsque le vent est également de secteur arrière à l'altitude du début d'approche finale (2000 ou 3000 ft), la « vitesse sol » des avions est plus élevée, pour une même « vitesse air ». Les avions de ligne à réaction ont besoin d'anticiper les décélérations. Lorsque la procédure d'approche s'accélère du fait d'une vitesse sol élevée, la préparation de la machine, notamment sa configuration avec la sortie des volets et du train d'atterrissage, se fait plus tôt. Ces traînées sont fortement émettrices de bruit. En phase d'approche, elles peuvent représenter jusqu'à la moitié du bruit émis par un avion. Ici encore, l'augmentation du vent arrière peut avoir un effet néfaste en termes d'émissions sonores du fait de mises en configuration anticipées.

4.1.3.6 Impact sécuritaire des rafales

Une ancienne version du PRS de Brussels-National ne prenait pas en compte les rafales dans la limite de 7 kt de vent arrière, et autorisait 12 kt de rafales de vent arrière.

Une rafale n'est pas qu'une simple augmentation ponctuelle du vent, elle a un effet fortement déstabilisateur, notamment lors des procédures d'approche. Lorsque l'atmosphère est turbulente et que le vent se compose de rafales, la charge de travail peut considérablement augmenter dans le cockpit car la tenue de la trajectoire requiert plus de ressources de la part des pilotes lors de la phase finale d'approche. Cette action déstabilisatrice a un fort impact sur les distances d'atterrissage, et les menaces évoquées plus haut sont alors d'autant plus présentes.

Selon les opérateurs, il arrive que les rafales soient intégralement prises en compte dans le calcul des performances liées au vent. Ainsi, 7 kt de vent arrière avec des rafales atteignant 12 kt sont égales dans ces calculs à simplement 12 kt de vent arrière. Les conséquences d'une telle situation peuvent être importantes, car il n'est pas rare de trouver des opérations interdites au-delà de 10 kt de vent arrière.

4.1.3.7 Impact sécuritaire du vent de travers

Le vent de travers représente également une menace forte, bien qu'un avion puisse généralement accepter plus de vent de travers que de vent arrière pour atterrir ou décoller.

Lors d'un décollage, le vent de travers impose un travail accru pour la tenue d'axe de piste lors de la course au décollage. Après l'envol, l'appareil peut s'orienter dans le sens du vent afin de contrer la dérive provoquée par le vent de travers. Les équipages sont entraînés pour gérer cette menace, et des limites de vent de travers autorisées sont publiées par les opérateurs et compagnies aériennes selon le type d'appareil, la largeur et l'état de la piste. En cas de panne au décollage, un fort vent de travers est une menace augmentant le risque de sortie latérale de piste.

Lors de l'atterrissage, le vent de travers entraîne une forte charge de travail pour la tenue de la trajectoire lors de la phase d'approche finale. L'avion avancera en « crabe », le nez orienté dans le sens du vent, afin de rester sur l'axe finale. Un fort vent de travers pouvant régulièrement être accompagné de rafales, le risque d'approche non stabilisée / déstabilisée est supérieur dans ces situations. Les procédures normales imposent qu'une remise de gaz soit effectuée lorsque cela se produit. Enfin, en cas de fort vent de travers, notamment accompagné de rafales, les équipages peuvent choisir des vitesses d'approche plus élevées, augmentant la distance de piste nécessaire pour l'arrêt de l'appareil, et donc l'utilisation des freins ou des inverseurs de poussée si la longueur de piste restante venait à être trop faible.

4.1.3.8 Limites de vent publiées pour un aéronef

Chaque avion certifié se voit allouer des limites de vent arrière et de travers par son constructeur. Les opérateurs peuvent également ajouter des limites plus restrictives s'ils le jugent nécessaire. Ces limites peuvent également être variables selon l'état de la piste, sa largeur/longueur, l'expérience des pilotes, ou tout autre facteur jugé pertinent.

Ainsi, si le vent de travers maximum affiché dans la documentation officielle est supérieur au vent de travers actuellement présent sur la piste, cela ne signifie pas que l'avion en question pourra se poser dans tous les cas.

Ces limites ne sont pas des situations manichéennes. Une limite de 30 kt de vent de travers à l'atterrissage, assortie de la mention stipulant qu'il a été démontré que les caractéristiques de vol permettent un atterrissage en toute sécurité dans ces conditions, ne signifie pas que la situation est « non dangereuse » à 29 kt, et « dangereuse » à 31 kt, et qu'un atterrissage peut être entrepris en toute sérénité dès lors que le vent ne dépasse pas la limite publiée.

Dans les opérations quotidiennes, comme précisé plus haut, d'autres paramètres peuvent venir abaisser la limite de vent maximum autorisé. Il s'agit là de nouvelles limites « dures » que les équipages ne peuvent pas dépasser. En plus de ces limites, l'évaluation de la situation globale est laissée à l'appréciation de l'équipage afin de juger si le vent, bien qu'en-dessous de la limite dure en vigueur, ne représente pas une menace trop importante compte tenu de la situation générale. Il est possible, dans ce genre de situation, qu'un changement de piste soit demandé, bien que le vent publié soit inférieur aux limites certifiées de l'appareil ou indiquées par l'opérateur. Ceci afin de garantir une sécurité optimale.

4.1.4 Le PRS à Brussels-National

Le PRS de l'aéroport de Brussels-National est défini par les autorités fédérales afin de guider dans le choix des pistes en service selon un critère de vent arrière et vent de travers, de jour et d'heure. C'est un système qui a exclusivement pour but de limiter l'impact du bruit sur les riverains de l'aéroport.

Le principe est simple : une configuration de pistes en service est à utiliser par défaut selon l'heure et le jour, et tant que les conditions de vent arrière et de travers sont respectées.

Le détail du PRS est fourni dans le tableau suivant, et peut être retrouvé dans l'AIP de l'aéroport sur le lien suivant :

https://ops.skeyes.be/html/belgocontrol_static/eaip/eAIP_Main/html/eAIP/EB-AD-2.EBBR-en-GB.html

		0500 to 1459 (0400 to 1359)	1500 to 2159 (1400 to 2059)	2200 to 0459 (2100 to 0359)
MON 0500 (0400) till TUE 0459 (0359)	TKOF	25R		25R / 19 ⁽¹⁾
	LDG	25L / 25R		25R / 25L ⁽²⁾
TUE 0500 (0400) till WED 0459 (0359)	TKOF	25R		25R / 19 ⁽¹⁾
	LDG	25L / 25R		25R / 25L ⁽²⁾
WED 0500 (0400) till THU 0459 (0359)	TKOF	25R		25R / 19 ⁽¹⁾
	LDG	25L / 25R		25R / 25L ⁽²⁾
THU 0500 (0400) till FRI 0459 (0359)	TKOF	25R		25R / 19 ⁽¹⁾
	LDG	25L / 25R		25R / 25L ⁽²⁾
FRI 0500 (0400) till SAT 0459 (0359)	TKOF	25R		25R ⁽³⁾
	LDG	25L / 25R		25R
SAT 0500 (0400) till SUN 0459 (0359)	TKOF	25R	25R / 19 ⁽¹⁾	25L ⁽⁴⁾
	LDG	25L / 25R	25R / 25L ⁽²⁾	25L
SUN 0500 (0400) till MON 0459 (0359)	TKOF	25R / 19 ⁽¹⁾	25R	19 ⁽⁴⁾
	LDG	25R / 25L ⁽²⁾	25L / 25R	19

(1) RWY 25R only for traffic via ELSIK, NIK, HELEN, DENUT, KOK and CIV / RWY 19 only for traffic via LNO, SPI, SOPOK, PITES and ROUSY; aircraft with MTOW between 80 and 200T can use RWY 25R or 19 (at pilot discretion); aircraft with MTOW > 200T shall use RWY 25R regardless the destination.
(2) Arrival on RWY 25L at ATC discretion only.
(3) No airport slot will be allocated for take-off between 0000 (2300) and 0500 (0400) (EBBR AD 2.20, § 1).
(4) No airport slot will be allocated for take-off between 2300 (2200) and 0500 (0400) (EBBR AD 2.20, § 1).

Tableau 1 : Détails du PRS de Brussels-National

Cette configuration est à respecter dès lors que le vent mesuré sur l'aéroport ne dépasse pas les critères publiés suivants :

	RWY 25L/R	RWY 19 (TKOF only)
Tailwind MAX	7KT	7KT
Crosswind MAX	20KT	20KT

	RWY 01	RWY 07L/R	RWY 19 (TKOF and ARR)
Tailwind MAX	0KT - 3KT (incl)	0KT - 3KT (incl)	0KT - 3KT (incl)
Crosswind MAX	20KT	20KT	20KT

Tableau 2 : Conditions de vent du PRS de Brussels-National

Des exceptions sont citées, qui permettent de ne pas considérer le PRS comme le facteur déterminant du choix des pistes en service :

- Si le vent de travers dépasse 20 kt ou plus (rafales incluses)
- Si le vent arrière dépasse 7 kt ou plus (rafales incluses)
- Si la piste est contaminée ou que le coefficient de freinage est inférieur à « Bon »
- Si d'autres prises sont demandées par les pilotes pour des raisons de sécurité
- Si des pilotes rapportent des vents excessifs à plus haute altitude, entraînant des remises de gaz
- Si des cisaillements de vent ont été rapportés ou prévus, ou si des orages sont prévus et peuvent impacter les départs ou arrivées
- Si des travaux sont en cours sur une ou plusieurs pistes du PRS
- Pour les arrivées, si le plafond nuageux (5/8 ou plus du ciel recouvert de nuages) est inférieur à 500 ft ou si la visibilité est inférieure à 1900 m
- Pour les départs, si la visibilité est inférieure à 1900 m

Il est rappelé ici que, bien que le PRS se doit d'être appliqué quand les conditions le permettent, **le choix final de la piste en service revient aux pilotes et aux contrôleurs qui peuvent à tout moment, en toute légalité, décider de ne plus appliquer le PRS et changer de piste en service s'ils estiment que la sécurité est engagée.** Rappelons que ce choix fait intégralement partie de leur mission et qu'il leur serait au contraire reproché d'avoir impacté la sécurité (même en l'absence d'accident) dans le seul but de respecter le PRS.

Les conditions de la liste ci-dessus sont des exemples typiques amenant à changer de piste en service, qui pourraient s'appliquer à d'autres aéroports. Mais des situations non prévues dans cette liste peuvent se présenter et amener à ne pas utiliser le PRS, bien que la raison ne soit pas citée dans l'AIP de l'aéroport. Les pilotes et contrôleurs sont pleinement formés à identifier ces situations inédites.

4.1.4.1 Infrastructures associées et capacité opérationnelle

Approches disponibles

Le PRS tel qu'il est construit est cohérent avec les infrastructures de l'aéroport. En effet, les approches les plus performantes sont sur les pistes 25L et 25R, alors que les pistes 07L et 07R ne disposent pas d'ILS :

Piste	Approche la plus performante
25L	ILS CAT III
25R	ILS CAT III
01	ILS CAT I
19	ILS CAT I
07L	VOR
07R	VOR

Tableau 3 : Approches disponibles à Brussels-National

De plus, les ILS CAT II et III disponibles sur les pistes 25L et 25R sont indispensables pour pouvoir réaliser des approches en conditions de très faible visibilité, où un ILS CAT I n'est plus assez performant.

Configuration des pistes et taxiways

Pour référence, le plan de l'aéroport est disponible sur la page de l'AIP de BRU au lien suivant :

https://ops.skeyes.be/html/belgocontrol_static/eaip/eAIP_Main/html/eAIP/EB-AD-2.EBBR-en-GB.html

Les [statistiques d'utilisation](#) des pistes montrent que, lorsque le PRS est actif, la piste 25R est utilisée pour la très grande majorité des départs, tandis que la piste 25L est majoritairement utilisée pour les arrivées.

Cette caractéristique s'explique notamment par la configuration de la piste 25L : le taxiway qui lui est parallèle au Nord ne couvre pas toute la longueur de la piste. Ainsi, si un avion souhaite décoller de cette piste, il doit pénétrer la piste, la remonter jusqu'à son extrémité Est puis faire un demi-tour au niveau de la raquette située à cette extrémité. Cette manœuvre implique une occupation de piste excessivement élevée et donc une capacité opérationnelle bien moindre. A l'inverse, pour les atterrissages, la piste dispose de plusieurs taxiways de sorties accessibles jusqu'à son extrémité.

A l'inverse, dans le cas où les pistes 07L/R et 01 sont en service, les atterrissages sur la 07R imposent également aux avions d'opérer un demi-tour en bout de piste. La piste 07R est donc principalement utilisée pour les décollages. Pour les atterrissages, les pistes 01 et 07L sont utilisées. La 01 dispose d'un ILS, ce qui a tendance à favoriser son utilisation.

Lorsque des pistes qui se croisent sont en service, par exemple la configuration 25L/R et 19, ou la configuration 07L/R et 01, cela réduit la capacité opérationnelle par rapport à une utilisation où les trois pistes seraient parallèles. En effet, si la piste 01 est utilisée pour un atterrissage, les pistes 07L et 07R ne peuvent être utilisées ni pour les départs ni pour les arrivées, tant que l'avion sur la piste 01 n'a pas atterri.

Changements de piste et capacités opérationnelles

Un changement de configuration de pistes doit être anticipé, afin d'affecter les procédures de départ et d'arrivée correspondant aux pistes qui vont être utilisées à court terme. Tout le trafic en vol doit être redirigé afin d'être affecté à la piste qui sera en service au moment prévu de l'atterrissage.

Il est important de prévoir quand sera le dernier mouvement dans l'ancienne configuration et le premier mouvement dans la nouvelle configuration. Évidemment, l'objectif est d'éviter que deux avions se retrouvent face à face sur une piste ou une procédure.

Ce travail demande une forte capacité logistique et représente un moment de tension du trafic où il est possible que certains avions soient mis sur un hippodrome d'attente avant de débiter leur procédure d'approche. La capacité opérationnelle peut être momentanément réduite le temps de procéder au changement de pistes. Il n'est donc pas dans l'intérêt des contrôleurs aériens de procéder à ces changements trop souvent dans une même journée. Cette opération peut prendre jusqu'à 30 minutes, selon le trafic.

Afin de ne pas autoriser un atterrissage ou un décollage avec un vent arrière ou de travers trop fort, les contrôleurs aériens doivent se référer aux prévisions météo de court terme. S'il est prévu que le vent dépasse les limites du PRS à court terme, il est éventuellement possible d'engager le changement de configuration de pistes avant que le vent soit effectivement supérieur à ces limites, afin de prendre en compte la durée de cette opération.

Le PRS est la configuration de pistes permettant la plus grande capacité opérationnelle. Si le PRS n'est pas actif, la capacité opérationnelle de l'aéroport diminue selon la configuration de pistes alternatives utilisée :

PRS – Opérations parallèles 25L/R	Configuration préférée ILS CAT IIIB sur les deux pistes	 Réduction de la capacité opérationnelle
Pistes 07L/R et 01	Pistes croisées ILS CAT I seulement sur la piste 01	
En cas de vent du Nord-Est		
Pistes 07L/R 07R pour les départs – 07L pour les arrivées	Pas d’ILS Demi-tour sur piste nécessaire sur la 07R	
En cas de fort vent d’Est		
Piste 19	ILS CAT I	
En cas de fort vent du Sud		

Tableau 4 : Évolution de la capacité opérationnelle selon la configuration de pistes

4.1.4.2 Historique des vents

Les vents à Brussels-National sont majoritairement de secteur Sud-Ouest. Les vitesses moyennes varient entre 7 et 10 kt selon les mois. Afin d’obtenir un aperçu complet des historiques des vents à Brussels-National, nous invitons le lecteur à se référer à la première version de ce rapport, partie 6.4 du Chapitre 2.

Ci-dessous, nous présentons des statistiques fournies par Skeyes sur le site www.batc.be, mises à jour sur les dernières années. Les années 2020 et 2021 sont également présentées, même si elles ne sont pas utilisées d’un point de vue trafic du fait de l’impact de la pandémie de Covid-19.

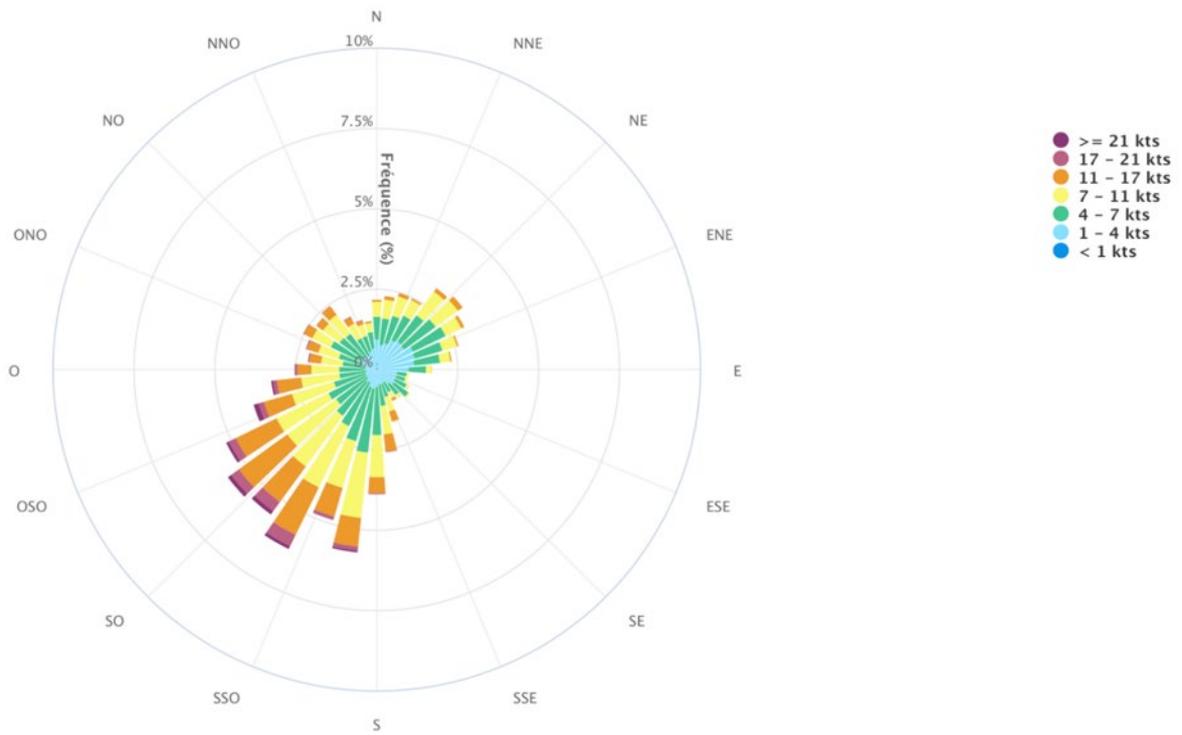


Figure 16 : Rose des vents pour 2018

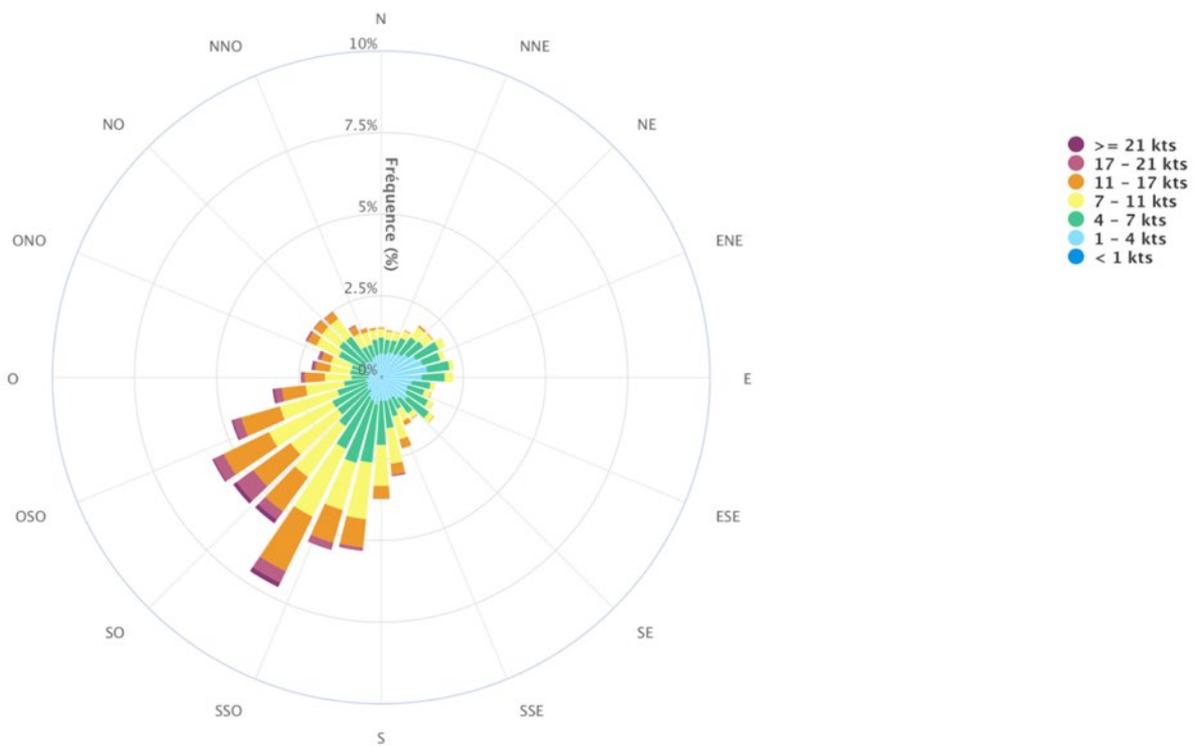


Figure 17 : Rose des vents pour 2019

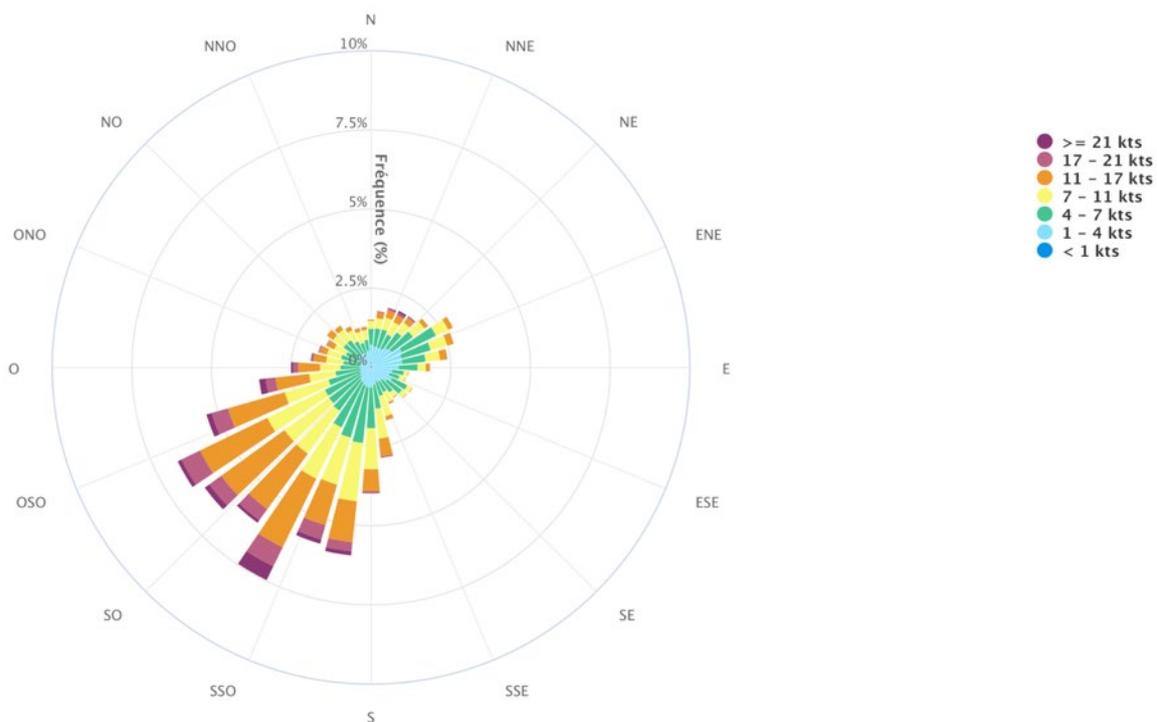


Figure 18 : Rose des vents pour 2020

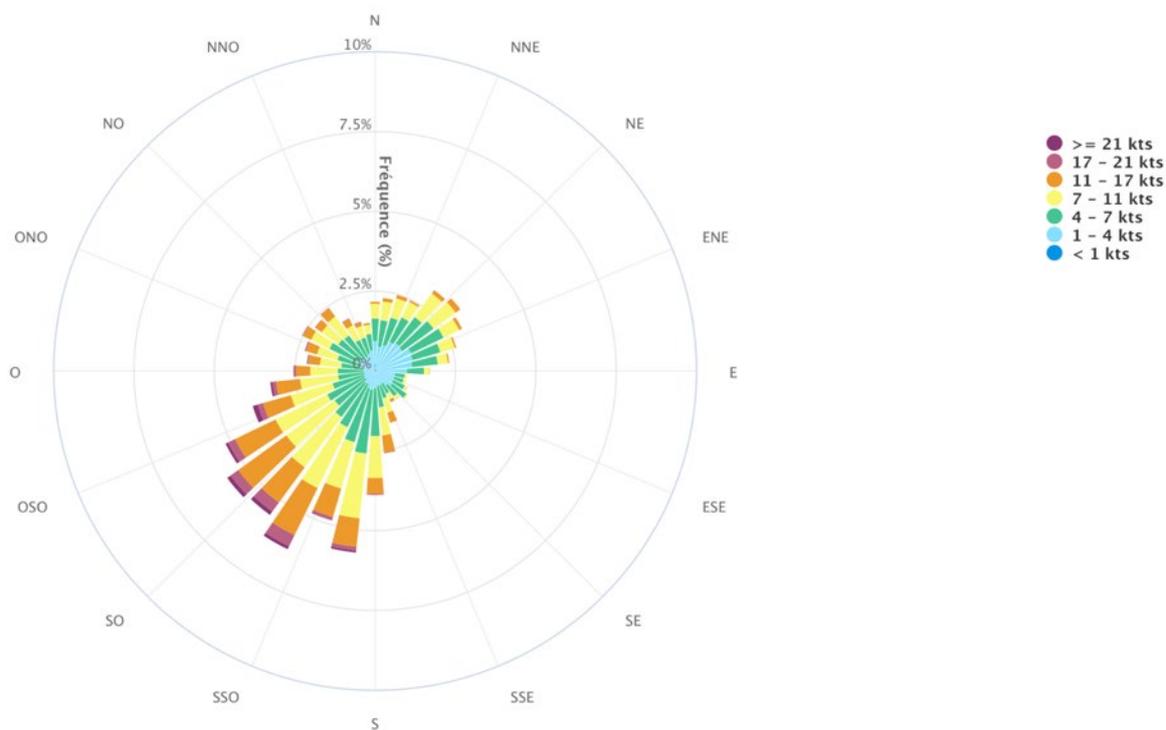


Figure 19 : Rose des vents pour 2021

4.1.4.3 Statistiques d'utilisation du PRS

Le site www.batc.be fournit des statistiques détaillées de l'utilisation du PRS à Brussels-National. Elles sont présentées ci-dessous pour les années 2018 et 2019.

Ces données peuvent nous permettre d'observer que **le PRS reste grandement majoritaire dans l'utilisation de l'aéroport (plus de ¾ des mouvements)** et que **les conditions météorologiques sont grandement responsables de l'utilisation des pistes alternatives** lorsque le PRS ne peut plus être appliqué. Nous pouvons également voir que **la configuration de piste la plus utilisée est de loin celle des pistes 25L/25R** (sans inclure la piste 19).

Statistiques PRS en 2018

En 2018, 78% des mouvements sur l'année ont suivi le PRS en vigueur.

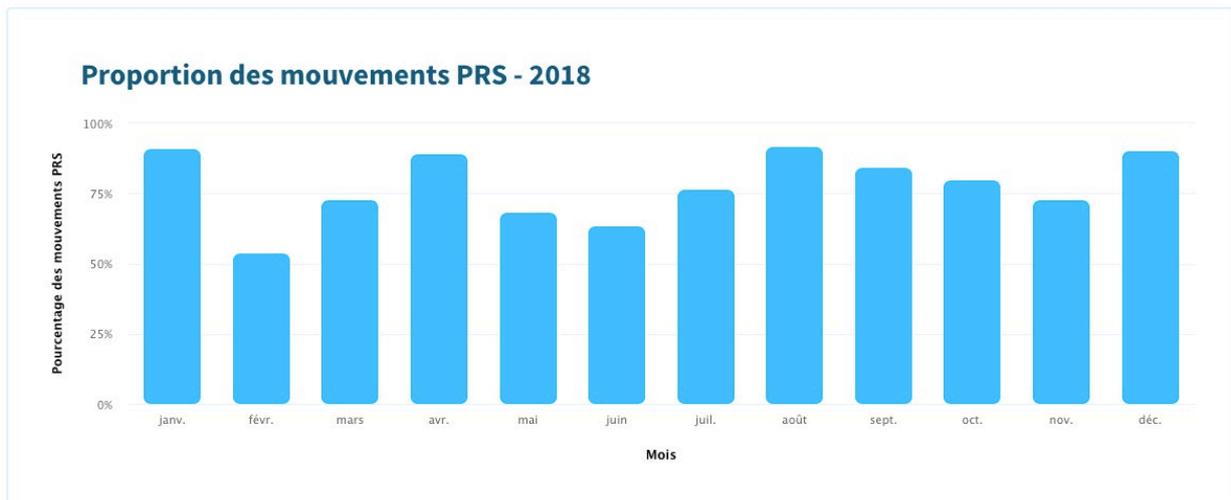


Figure 20 : Pourcentage des mouvements PRS par mois en 2018 – Source : www.batc.be



Figure 21 : Pourcentage de temps PRS par mois en 2018 – Source : www.batc.be

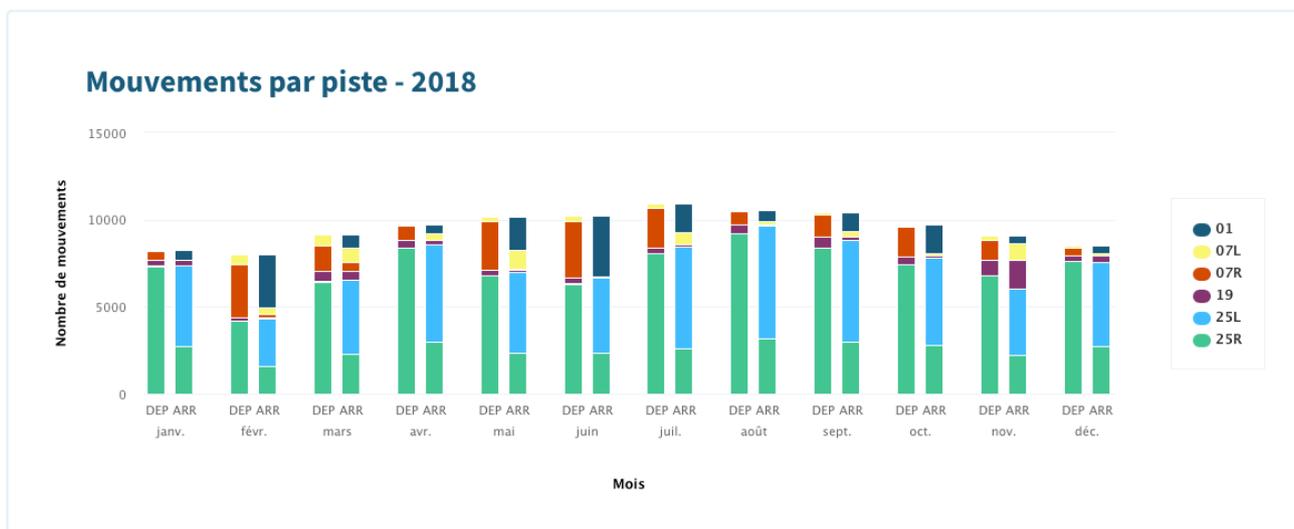


Figure 22 : Nombre de mouvements par piste par mois en 2018 – Source : www.batc.be

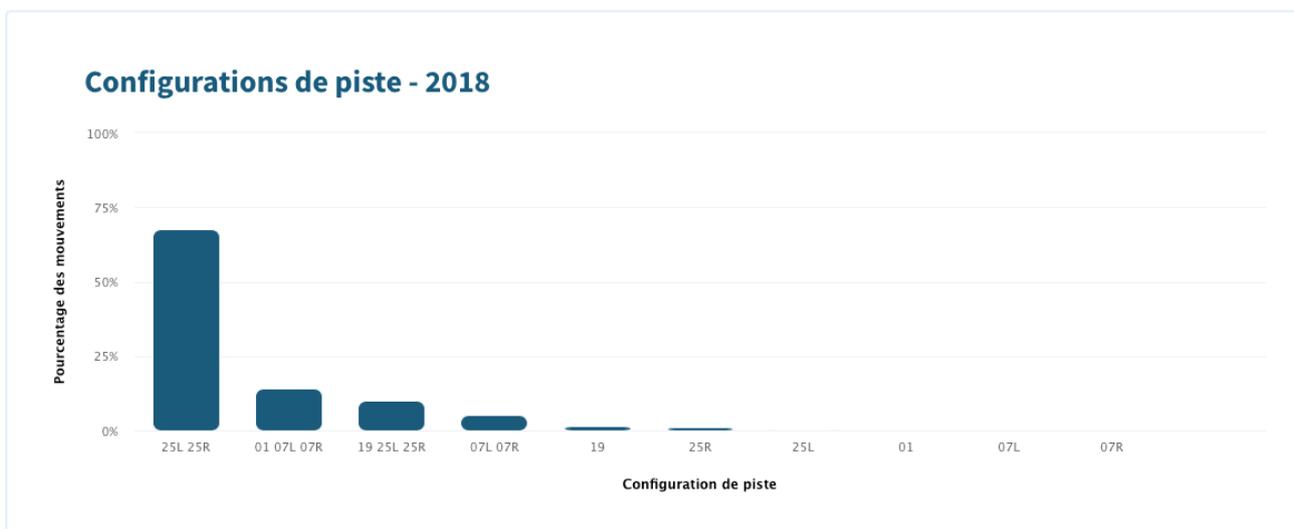


Figure 23 : Pourcentage d'utilisation des configurations de pistes en 2018 – Source : www.batc.be

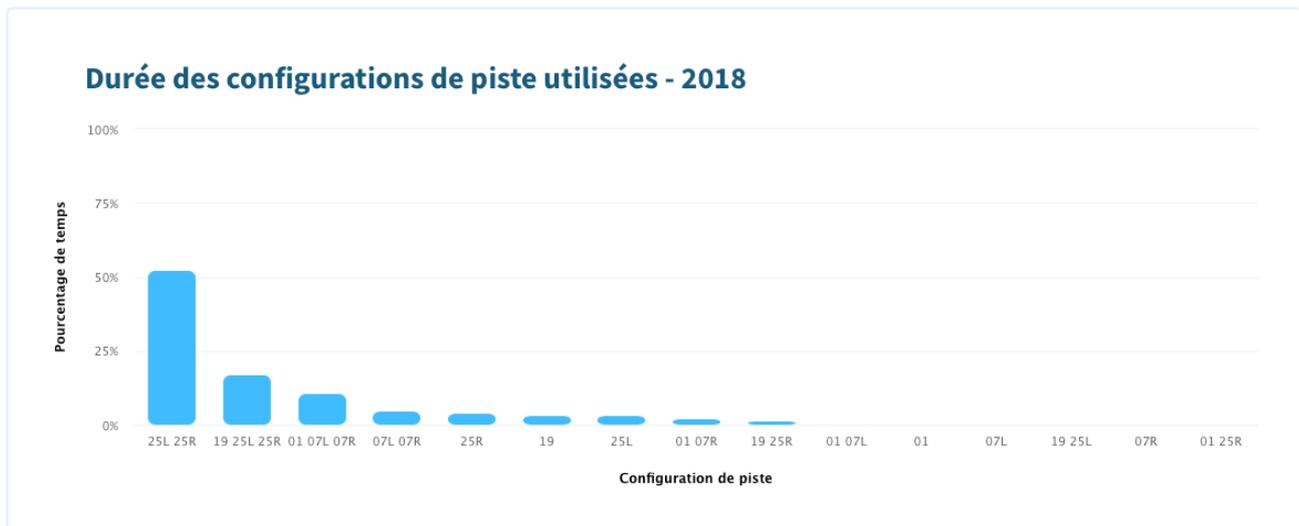


Figure 24 : Pourcentage de temps passé sur chaque configuration de pistes en 2018 – Source : www.batc.be

Les raisons d'une non-utilisation du PRS sont également présentées :

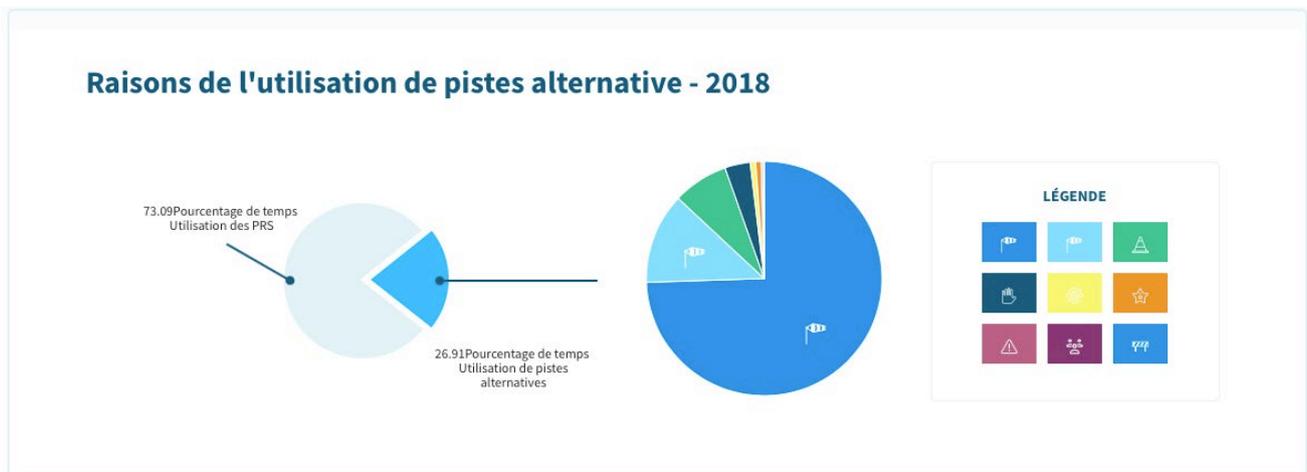


Figure 25 : Raisons de l'utilisation de pistes alternatives en 2018 – Source : www.batc.be

Nous pouvons voir au travers de ces données que, en 2018, les conditions météorologiques à l'aéroport ou sur les trajectoires de départ et/ou d'arrivée sont responsables de la grande majorité (87 %) du temps d'utilisation des pistes alternatives. Le détail des raisons est donné ici :

- Conditions météorologiques à l'aéroport : 74,48 %
- Conditions météorologiques à proximité de l'aéroport dans la trajectoire de départ et/ou d'approche : 12,52 %
- Indisponibilité des pistes et voies de circulation : 7,62 %
- Demande de trafic excédentaire à la capacité PRS : 3,49 %
- Entretien planifié de l'aéroport et/ou des équipements de contrôle du trafic aérien : 0,74 %
- Activités spéciales : 0,74 %

- Indisponibilité non planifiée de de l'aéroport et/ou des équipements de contrôle du trafic aérien : 0,26 %
- Obstacles dans la trajectoire de départ et/ou d'approche : 0,04 %

Statistiques PRS en 2019

En 2019, 84 % des mouvements ont été réalisés dans le cadre du PRS.

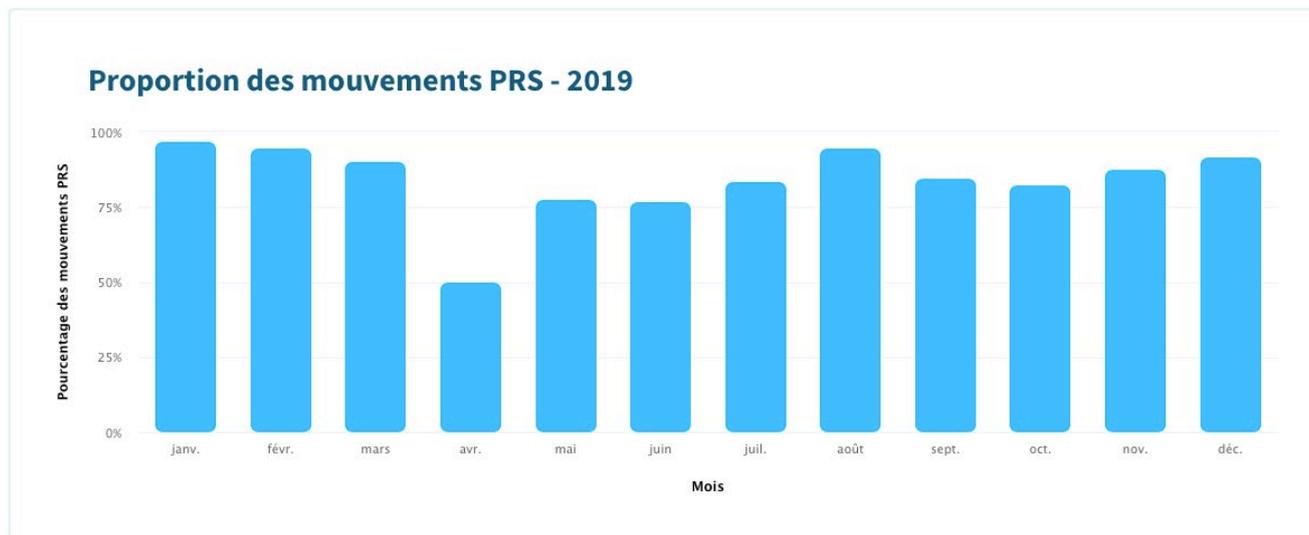


Figure 26 : Pourcentage des mouvements PRS par mois en 2019 – Source : www.batc.be



Figure 27 : Pourcentage de temps PRS par mois en 2019 – Source : www.batc.be

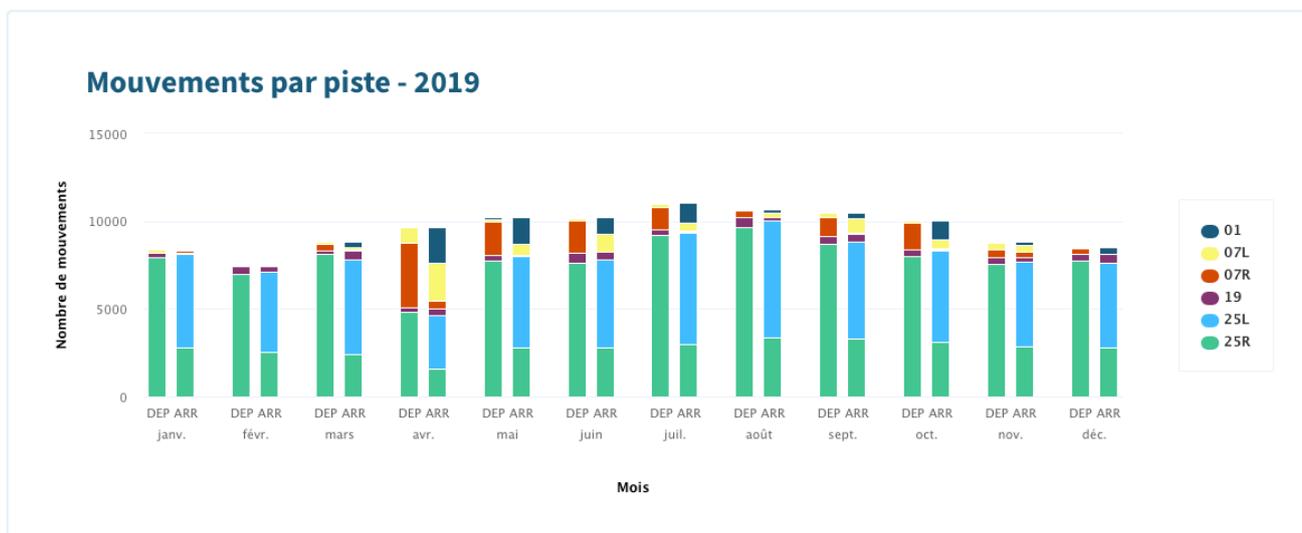


Figure 28 : Nombre de mouvements par piste par mois en 2019 – Source : www.batc.be

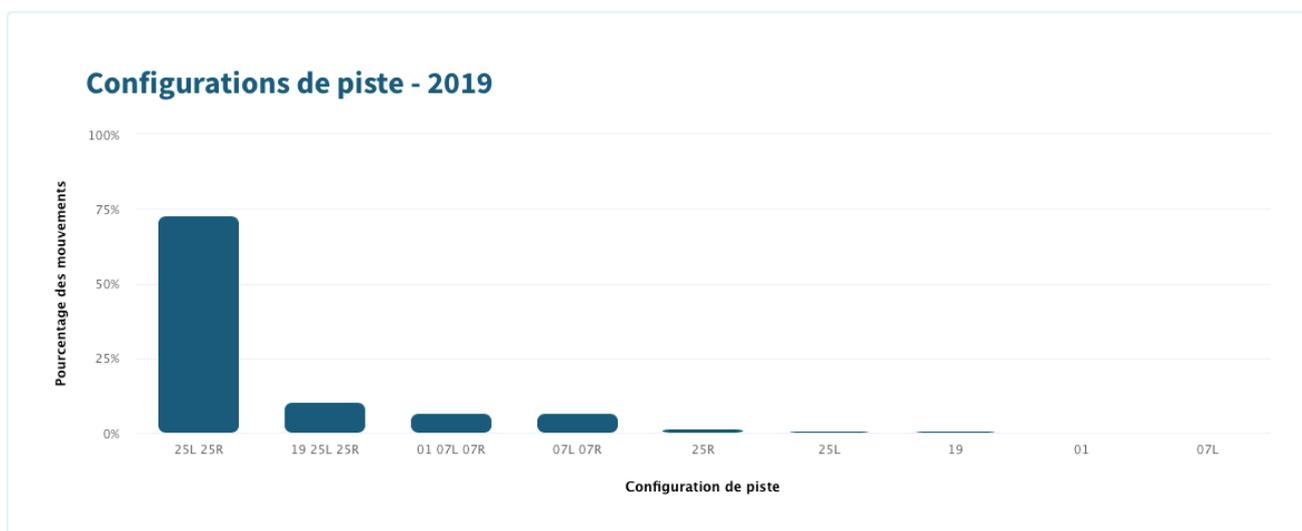


Figure 29 : Pourcentage d'utilisation des configurations de pistes en 2019 – Source : www.batc.be

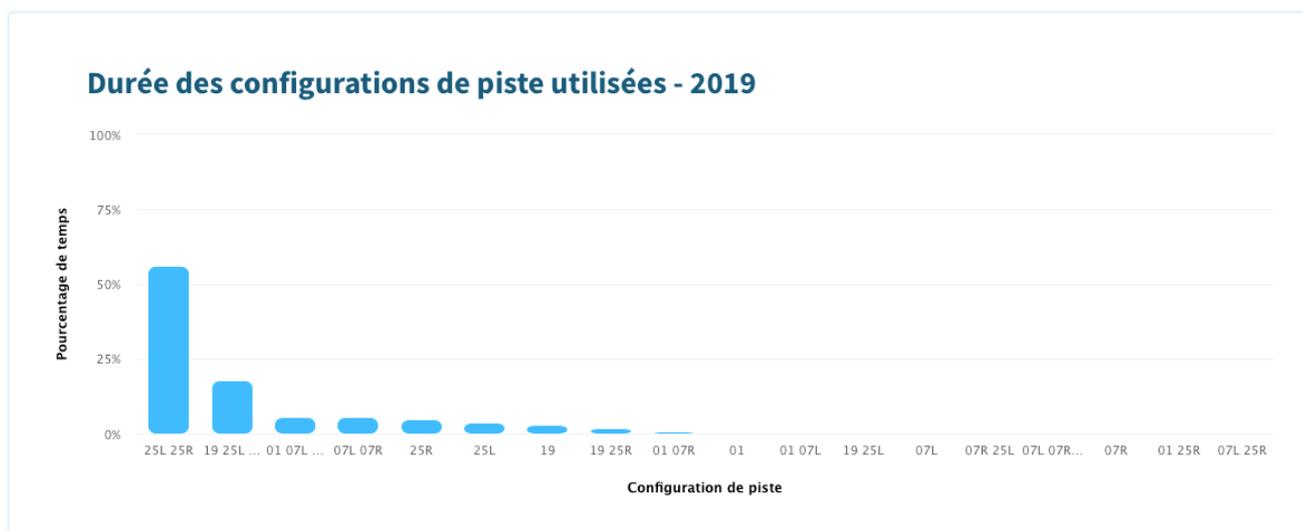


Figure 30 : Pourcentage de temps passé sur chaque configuration de pistes en 2019 – Source : www.batc.be

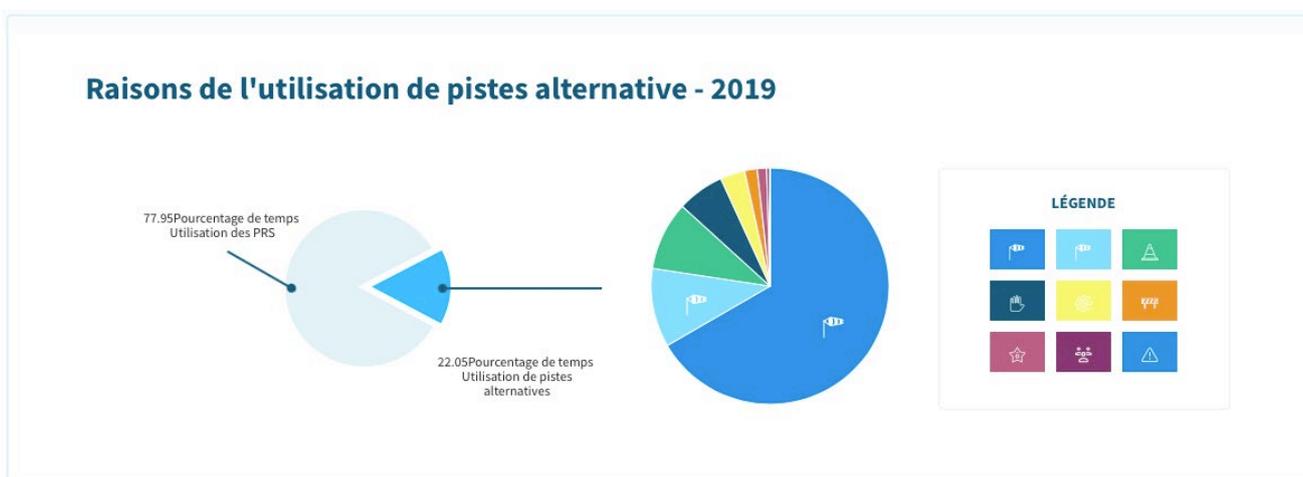


Figure 31 : Raisons de l'utilisation de pistes alternatives en 2019 – Source : www.batc.be

Nous pouvons voir au travers de ces données que, en 2019, les conditions météorologiques à l'aéroport ou sur les trajectoires de départ et/ou d'arrivée sont également responsables trois quarts (77 %) du temps de l'utilisation des pistes alternatives. Le détail des raisons est donné ici :

- Conditions météorologiques à l'aéroport : 66,62%
- Conditions météorologiques à proximité de l'aéroport dans la trajectoire de départ et/ou d'approche : 10,79%
- Indisponibilité des pistes et voies de circulation : 9,39%
- Demande de trafic excédentaire à la capacité PRS : 6,39%
- Entretien planifié de l'aéroport et/ou des équipements de contrôle du trafic aérien : 3,36%
- Obstacles dans la trajectoire de départ et/ou d'approche : 1,72%
- Activités spéciales : 1,27%
- Autres : 0,41%
- Indisponibilité non planifiée de de l'aéroport et/ou des équipements de contrôle du trafic aérien : 0,05%

4.1.4.4 Evolution des normes de vent du PRS à Brussels-National

Au cours des années, les critères de vent pour la sélection des pistes à Brussels-National a subi des modifications. Ces changements sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Date	Vent de travers max	Vent arrière max
1971	15 kt	6 kt – rafales comprises
1980	15 kt	8 kt – rafales comprises
12/06/2003	25 kt	10 kt – rafales comprises
19/02/2004 (Amendement AIP 02/2004)	15 kt	5 kt – rafales comprises
19/02/2004 (NOTAM A244/2004)	25 kt	10 kt – rafales comprises
04/03/2004	15 kt	10 kt – rafales comprises
05/03/2004 (NOTAM A291/2004)	15 kt	8 kt – rafales comprises
22/03/2004	15 kt	5 kt – rafales comprises (pistes 25L/R + 07L/R) 0 kt – rafales comprises (pistes 01 + 19)
27/05/2004	15 kt	5 kt – rafales comprises (pistes 25L/R + 07L/R) 5 kt – rafales comprises (pistes 01 + 19, arrivées jour/nuit et départs nuit) 0 kt – rafales comprises (pistes 01 + 19, départs jour)
17/03/2005	20 kt (pistes 25L/R + 07L/R) 15 kt (pistes 01 + 19)	7 kt – rafales comprises (pistes 25L/R + 07L/R) 5 kt – rafales comprises (pistes 01 + 19, arrivées jour/nuit et départs nuit) 0 kt – rafales comprises (pistes 01 + 19, départs jour)

01/07/2010	15 kt	7 kt – rafales comprises (incl. tolérance de 2 kt)
19/09/2013	15 – 20 kt	7 kt – rafales jusqu'à 12 kt (pistes 19, départs + 25L/R, départs et arrivées) 0 - 5 kt – rafales comprises (pistes 01 + 19 + 07L/R)
06/02/2014	19 kt (20 kt non inclus)	7 kt – rafales comprises (pistes 19, départs + 25L/R, départs et arrivées) 0 - 3 kt – rafales comprises (pistes 01 + 19 + 07L/R)

Tableau 5 : Critères de vent à Brussels-National au cours des années précédentes, sources : AIP au cours des ans

Le 19 décembre 2008, le Conseil des Ministres a décidé de consulter des experts internationaux afin d'analyser plus en détail l'impact de l'évolution des critères relatifs au vent et leur impact sur la sécurité, la capacité, l'utilisation des voies et la pollution sonore à Brussels-National.

Une étude réalisée par airsight GmbH² en a résulté et le rapport final a été publié le 24 septembre 2009. Les principales conclusions que l'on y retrouve sont les suivantes :

Sur la base d'une analyse des risques et d'une étude des meilleures pratiques dans les aéroports européens, les critères de vent suivants ont dû être appliqués à BRU :

- Un vent arrière maximum de 5 kt (rafales comprises)
- Un vent de travers maximum de 15 kt (rafales comprises)

Ces limites s'appliquaient aux arrivées et aux départs, sur toutes les pistes et à tout moment de la journée. De plus, pour que Skeyes puisse effectuer des changements de piste en douceur, les valeurs de tolérance de vitesse du vent ont été définies comme suit :

- Composante vent arrière de 2 kt (rafales comprises)
- Composante vent de travers de 5 kt (rafales comprises)

Ces limites n'auraient pas entraîné de changements importants dans les niveaux de bruit équivalents, les niveaux de bruit et les zones touchées par le bruit. L'effet de ces transferts sur la capacité devait également être faible.

Le Secrétaire d'État a chargé Skeyes (Belgocontrol) d'augmenter la limite maximale de vent arrière à 7 kt maximum, en incluant la tolérance de 2 kt, et celle de vent de travers de 20 kt (toutes deux avec rafales), afin que Skeyes puisse effectuer une transition en douceur avec les autres pistes. Cette décision a été prise malgré les recommandations de l'étude airsight GmbH.

² [airsight, Study on maximum wind component limits applicable at Brussels-National, 2009](#)

C'est également ce qui ressort de l'actuel AIP, qui fixe des limites de vitesse du vent différentes de celles recommandées par l'OACI. Plus précisément, les limites de sélection de PRS pour le vent arrière à BRU ont été portées à 7 kt maximum (rafales comprises), tandis que les recommandations de l'OACI sont de 5 kt maximum (rafales comprises). De même, les limites de vent de travers sont de 20 kt (rafales comprises), tandis que l'OACI recommande 15 kt (rafales comprises).

Les philosophies sont également différentes entre les normes de vent fixées par l'OACI et celles fixées en Belgique et spécialement à BRU. Au regard de l'OACI, une valeur de vent arrière de 5 kt peut être atteinte, mais la sécurité doit être assurée en amont pour ne pas dépasser cette valeur. Au contraire, à BRU, il est nécessaire de dépasser 7 kt de vent arrière pour engendrer la procédure de changement de piste, procédure non appliquée en dessous de cette valeur. Une demande de changement de piste à un vent arrière de moins de 7 kt serait considéré comme une erreur. Les normes de vent à BRU sont ainsi moins sécuritaires que celles préconisées par les experts de l'OACI.

En 2013, l'association des pilotes de Belgique BeCA (Belgian Cockpit Association), s'est réunie au Cabinet du Ministre Fédéral des Transports en réponse au grand nombre d'inexactitudes dans la décision du secrétaire d'État concernant la modification des normes relatives au vent à Brussels-National³.

Dans l'accord aéroportuaire conclu sous la direction de M. Schouppe, la limite maximale de vent arrière était de 7 kt (rafales comprises) pour pouvoir utiliser le PRS. Pour les contrôleurs aériens, une marge de manœuvre de 2 kt (de 5 kt à 7 kt) était également mise en place, au sein de laquelle ils pouvaient décider de changer de piste en service. Dans le nouveau texte de M. Wathelet, le PRS devait être utilisé jusqu'à ce que le vent dépasse 7 kt, (hors rafales) avec une limite de 5 kt pour les rafales, soit un total de 12 kt de vent arrière (or les rafales font intégralement partie de la composante vent arrière selon l'OACI). Cela s'est traduit par des situations dans lesquelles les pilotes n'étaient pas autorisés à atterrir selon les règles de leurs opérateurs car la limite fixée de vent arrière était dépassée et, d'autre part, les contrôleurs de la circulation aérienne n'étaient pas autorisés à utiliser une autre piste. En conclusion, cette limite était trop élevée.

4.1.4.5 Exemples d'autres critères de vent sur d'autres aéroports

Des critères relatifs au vent énoncés dans les AIP de certains grands aéroports européens sont présents dans le chapitre 2 du précédent rapport, dans la partie 6.1.

³ [BeCa, Lettre au Comité des Transports, 2013](#)

4.2 Réponse à une éventuelle évolution des normes de vent

4.2.1 Revue des remarques des parties judiciaires

Certaines parties judiciaires ont fait part de leur souhait d'une révision du système de PRS actuel, tel qu'il est publié dans l'AIP de l'aéroport de Brussels-National.

Plusieurs communes, notamment les communes de Woluwe-Saint-Pierre, de Kraainem et de Wezembeek-Oppem nous ont fait part de leur constat d'une utilisation excessive de la piste 01 à l'atterrissage compte tenu du PRS actuellement en vigueur. Ces communes arguent également du fait que le PRS actuellement en vigueur doit être révisé afin d'intégrer des limites de vent arrière plus élevées :

- La commune de Woluwe-Saint-Pierre demande si une composante de 8 kt de vent arrière est déconseillée et si la prise en compte des rafales doit évoluer afin de suivre les normes de l'OACI.
- Les communes de Kraainem et de Wezembeek-Oppem estiment notamment qu'aucun incident n'a été signalé durant 20 ans avec une limite de vent arrière de 8 kt. Elles estiment également que les rafales ne doivent pas être prises en compte, comme le recommanderait l'OACI. Elles jugent que l'AIP mis en place en 2013 (7 kt max de vent arrière avec rafales à 12 kt) est acceptable et que les changements de configuration de piste doivent s'effectuer exclusivement sur des informations en temps réels.
- L'État Belge demande quelles seraient les normes de vent à appliquer afin de réduire l'utilisation des pistes non-PRS tout en garantissant la sécurité.

Les communes de Kraainem et Wezembeek-Oppem ont également fait part de leur désaccord juridique concernant la décision d'appliquer l'AIP actuellement en vigueur en ce qui concerne le PRS, au motif que le système actuellement en vigueur appliquerait une interprétation erronée des composantes de vent et de la définition d'une rafale, qui ne trouveraient aucun fondement dans les règles de l'OACI.

4.2.2 Commentaires sur ces remarques et leur faisabilité

Avant d'aller plus loin, nous invitons le lecteur à se référer à la partie précédente (4.1) sur [le vent et le PRS à Brussels-National](#), qui fournit des éléments essentiels pour comprendre les enjeux en présence.

Il est plusieurs fois fait référence aux recommandations de l'OACI concernant les limites des composantes de vent de travers et vent arrière, comme argument au fait qu'elles permettraient de justifier l'augmentation des limites actuellement en vigueur à Brussels-National. Comme expliqué dans la partie 4.1, les recommandations de l'OACI sont les suivantes :

- Vent arrière maximum : 5 kt (rafales comprises)
- Vent de travers maximum : 15 kt (rafales comprises).

La définition des rafales fournie par l'OACI, telle que rappelée dans la [partie 4.1.1.2](#), correspond bien à celle appliquée à l'aéroport de Brussels-National. Les limites de vent applicables à cet aéroport sont, rappelons-le :

- Vent arrière maximum : 7 kt (rafales comprises)
- Vent de travers maximum : 20 kt (rafales comprises)

Les limites de composante de vent arrière et de travers actuellement en vigueur à l'aéroport de Brussels-National sont donc plus élevées que celles recommandées par l'OACI. Envisa ne peut que conseiller de suivre les recommandations de l'OACI. Effectuer une étude d'incidence spécifique à ce sujet afin d'en sortir un chiffre qui ferait foi et maximiserait à la fois l'utilisation du PRS ainsi que la sécurité des opérations aériennes n'est pas l'objet de ce rapport et impliquerait un travail spécifique dédié à ce sujet. Nous rappelons toutefois qu'une telle étude a déjà été réalisée par airsight GmbH en 2009 et que les conclusions étaient identiques aux recommandations de l'OACI actuellement en vigueur, à savoir 5 kt de vent arrière (rafales comprises) et 15 kt de vent de travers (rafales comprises).

La philosophie des normes de vent est également différente. Dans les normes de l'OACI, il est possible d'atteindre la valeur de 5 kt de vent arrière, mais le changement est possible avant pour assurer la sécurité, la sécurité est « assurée » jusqu'à 5 kt. Tandis que la philosophie à BRU est de dire qu'il faut dépasser 7 kt (donc atteindre 8 kt) pour changer de piste, en-dessous de cette valeur ce n'est pas possible. Un contrôleur qui demanderait un changement de piste à 4 ou 5 kt serait en erreur. En ce sens également, les normes de vent à BRU sont moins sécuritaires que celles préconisées par les experts de l'OACI.

Nous rappelons également que la limite de 12 kt de rafales pour la composante de vent arrière mise en place en 2013 puis retirée en 2014 a fait l'objet de critiques au motif que de nombreux opérateurs et avions ont des limites de vent arrière de 10 kt, rafales comprises, rendant alors les atterrissages impossibles tant qu'un changement de piste n'est pas effectué.

Enfin, nous rappelons également les enjeux sécuritaires liés aux opérations de décollage et d'atterrissage en cas de vent arrière, que le lecteur trouvera également dans les parties [4.3](#), [4.4](#) et [4.5](#).

L'objectif d'Envisa n'est pas de juger et d'attribuer une note au PRS actuellement en vigueur, mais de donner les éléments qui permettront aux parties judiciaires de se faire une idée de la justification, ou non, d'une évolution du PRS actuel, avec des limites de composantes de vent augmentées ou abaissées.

Concernant la prise en compte des prévisions de vent, nous rappelons qu'un changement de piste en service doit être anticipé et s'effectue sur une durée relativement longue, à savoir jusqu'à environ 30 min (cf. [partie sur le PRS et la capacité opérationnelle](#)). En ce sens, il est impossible pour les organismes de contrôle de ne pas se référer aux prévisions de vent à court terme afin d'anticiper un changement de piste éventuel et de garantir la continuité de la sécurité des opérations aériennes.

4.2.3 Conclusion

Pour conclure, nos recommandations sont de suivre les directives de l'OACI en ce qui concerne les normes de vent, pour ne pas porter atteinte à la sécurité aérienne. La capacité d'exploitation de l'aéroport ne serait réduite que dans le cas où le système de pistes parallèles serait inutilisable à cause d'un vent de travers dépassant 15 kt sur ces pistes (fort vent du Sud-Sud-Est par exemple), ce qui donnerait donc un changement d'un système avec 2 pistes à un système avec une piste unique (la piste 01/19).

souhaitons rappeler que, dans les opérations aériennes au quotidien, les limites de vent publiées ne sont pas des situations manichéennes définissant des limites objectives de dangerosité. C'est aux pilotes et aux contrôleurs de juger, compte tenu des nombreux autres paramètres à prendre en compte, du niveau de menace représenté par une composante de vent donnée, qu'elle soit égale ou inférieure à la limite publiée. Enfin, quelles que soient les limites de vent actuellement en vigueur dans le cadre du PRS, le Commandant de Bord d'un aéronef sera toujours en droit de refuser une piste en service s'il estime que le vent l'empêchera de garantir un décollage ou un atterrissage en toute sécurité.

Étant donné les éléments discutés plus haut, Envisa a estimé qu'il n'était pas nécessaire de procéder à une modélisation d'une évolution des paramètres du PRS dans le cadre de cette étude.

4.3 Les procédures d'approche

Une procédure d'approche aux instruments est une série de manœuvres prédéfinies qui mènent le pilote sur une trajectoire sûre depuis un IAF (Initial Approach Fix, là où la procédure commence) à un point où le pilote peut décider de continuer visuellement vers l'atterrissage ou d'initier une procédure d'approche manquée (c'est-à-dire refaire une approche, un « go-around »). Ce point de décision est défini à une altitude minimum spécifique à chaque procédure, en prenant en compte ses spécificités et le type d'approche.

Ces manœuvres sont conçues selon les aides radio basées au sol ou la navigation basée sur le GNSS, ce qui permet au pilote de définir sa trajectoire seulement avec les instruments du cockpit.

La phase de descente d'une procédure d'approche est appelée le segment final. Il définit le moment où l'avion est dans sa descente finale, très souvent alignée avec l'axe de la piste, avant d'atterrir. Cette phase commence à partir du FAF (Final Approach Fix).

Les approches peuvent être appelées « approches de non-précision » ou « approches de précision ». Une approche de précision utilise un système de guidage à la fois latéral et vertical, ce qui donne un guidage 3D au pilote pour la descente finale. Une approche de non-précision utilise seulement un guidage latéral, avec dans la plupart des cas une information de distance en plus. Ces procédures sont qualifiées d'approche 2D car elles ne proposent pas de guidage vertical.

Il est important de noter que le terme « non-précision » ne veut pas dire un manque de précision pendant la descente, où l'appareil aurait une position plus aléatoire par rapport à une trajectoire d'approche théorique. Cela veut dire simplement que l'équipement au sol, satellite ou à bord n'est pas conçu pour donner un guidage complet jusqu'à une altitude minimum, compatible avec la définition d'une approche de précision. Par conséquent, une approche de non-précision sera suivie avec une altitude de décision plus haute que pour une approche de précision.

Une approche de non-précision implique toutefois une charge de travail plus importante de l'équipage. L'information de distance doit être constamment comparée à l'altitude pour vérifier que l'avion est sur la pente de descente correcte. Sur les aéronefs récents équipés de FMS (Flight Management System – ordinateur de bord) modernes, un profil vertical (VNAV) peut être sélectionné pour ajouter des indications supplémentaires sur la pente idéale et la position relative de l'aéronef par rapport à celle-ci. Cela aide à réduire la charge de travail des pilotes pendant cette phase critique du vol.

Certaines approches spécifiques fournissent à la fois un guidage latéral et vertical mais ne répondent pas aux exigences d'une approche de précision. Ces exigences sont spécifiées en termes d'altitude minimum où le pilote doit prendre la décision de continuer visuellement l'atterrissage ou d'initier une procédure d'approche manquée. Même si ces approches ne peuvent pas être classées comme « précises », elles peuvent diminuer la charge de travail du pilote en donnant des éléments de guidage qui aideront à stabiliser l'aéronef pendant la descente finale.

Une procédure d'approche VOR est suivie grâce à une station (une balise) VOR. Le VOR fournit un guidage latéral au pilote. De plus, il peut être associé avec un DME qui fournit une information de distance. A Bruxelles, la balise VOR est BUB VOR-DME.

Une procédure d'approche ILS (Instrument Landing System) est réalisée grâce à un système ILS au sol, composé de sous-systèmes : un système de guidage latéral (LOC) et un système de guidage vertical, qui donnent la position de l'aéronef par rapport à l'axe de la piste et par rapport à la pente d'approche. La procédure peut aussi être menée avec le système LOC seul.

Une procédure d'approche RNP est conduite avec un système GNSS (Global Navigation Satellite System), qui ne requiert, dans la plupart des cas, aucune aide basée au sol. Ces approches peuvent être suivies avec un guidage latéral et vertical ou seulement avec un guidage latéral, cela dépend de la disponibilité du satellite et de l'équipement à bord.

La phase de descente varie en longueur selon la procédure et la piste sélectionnée. A Brussels-National, on trouve les procédures d'approche suivantes :

Piste	Type d'approche	Aide	FAF au THR	Altitude du FAF
01	ILS ou LOC RWY 01	IBX LOC-DME	5.7 NM	2000 ft
	RNP RWY 01	GNSS	5.71 NM	2000 ft
19	ILS ou LOC RWY 19	IBM LOC-DME	8.9 NM	3000 ft
	RNP RWY 19	GNSS	8.9 NM	3000 ft
07L	VOR RWY 07L	BUB VOR-DME	5.9 NM	2000 ft
	RNP RWY 07L (utilisée en tant que procédure de contingence, lors de travaux sur les pistes et sur la balise VOR BUB)	GNSS	8.8 NM	3000 ft
07R	VOR RWY 07R	BUB VOR-DME	5.7 NM	2000 ft
	RNP RWY 07R (utilisée en tant que procédure de contingence, lors de travaux sur les pistes et sur la balise VOR BUB)	GNSS	8.7 NM	3000 ft
25L	ILS CAT II & III ou LOC Z RWY 25L	IBL LOC-DME	5.8 NM	2000 ft
	ILS CAT II & III ou LOC Y RWY 25L	IBL LOC-DME	8.9 NM	3000 ft
	VOR Z RWY 25L	BUB VOR-DME	5.8 NM	2000 ft
	VOR Y RWY 25L	BUB VOR-DME	8.9 NM	3000 ft
	RNP RWY 25L	GNSS	5.8 NM	2000 ft
25R	ILS CAT II & III ou LOC Z RWY 25R	IBR LOC-DME	5.9 NM	2000 ft
	ILS CAT II & III ou LOC Y RWY 25R	IBR LOC-DME	5.9 NM	2000 ft
	RNP RWY 25R	GNSS	5.9 NM	2000 ft

Tableau 6 : Procédures d'approche et aides/équipements disponibles à Brussels-National

4.4 *Les risques d'accident et l'importance de la prise en compte du vent pour les approches*

4.4.1 L'importance de la prise en compte du vent

La composante de vent arrière est le facteur qui a le plus d'influence sur le déroulement des approches. Un fort vent arrière implique plus d'approches où la stabilisation de l'appareil est difficile. Le vent est généralement plus fort en altitude (même à 2000 ou 3000 ft, lorsque la descente finale commence) qu'au niveau du sol où son intensité est mesurée. Les conséquences typiques sont une approche instable et la nécessité d'initier une procédure d'approche manquée avec un go-around. Cette procédure impose à l'appareil une tentative de deuxième approche, générant plus de bruit. Si la décision de lancer cette procédure n'est pas prise et que le pilote continue la descente sans se stabiliser, une conséquence typique est une vitesse excessive et des risques de sortie de piste ou de sur-échauffement des freins.

Un autre risque associé au vent pendant une approche est le phénomène de cisaillement du vent. Il se traduit par un changement brutal de sa direction ou de sa vitesse, ce qui mène à une potentielle variation rapide des masses d'air. Dans certains cas extrêmes, une perte brutale de portance peut causer un décrochage de l'avion et un accident. Cependant, les pilotes sont entraînés et préparés à cette éventualité et les appareils modernes sont équipés d'alarmes.

La descente finale commence généralement entre 10 et 16 km avant le seuil de piste. C'est durant cette phase que l'appareil acquiert sa trajectoire finale et sa configuration d'atterrissage. Il s'agit d'une phase très dynamique où le pilote cherche à stabiliser son approche le plus rapidement possible.

4.4.2 Quelques statistiques sur les accidents

Il y a quelques statistiques disponibles à propos des accidents, comme ce graphique de l'EASA 2020 Annual Safety Review :

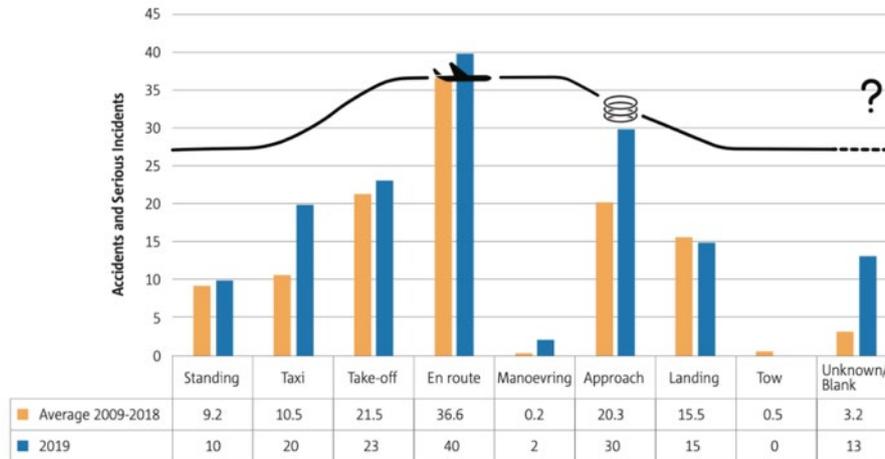


Figure 32 : Accidents et incidents graves par phase de vol impliquant les compagnies de transport commerciales et les avions-taxis

Il faut noter que ce graphique inclut également les incidents sérieux, définis dans l'Annexe 13 de l'OACI comme un incident qui aurait pu mener à un accident.

En prenant en compte seulement les accidents pour des avions de plus de 2 250 tonnes (pour éliminer l'aviation légère de l'aviation générale), les données de l'OACI entre 2008 et 2020 nous donnent la répartition d'accidents par phases de vol suivante :

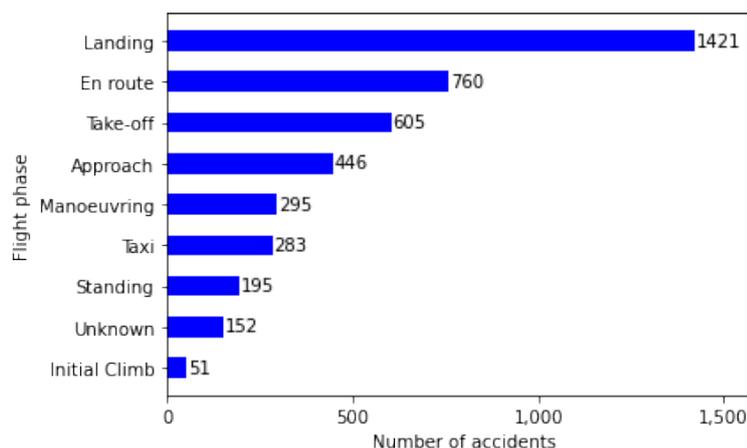


Figure 33 : Accidents par phase de vol - 2008-2020 - données de l'OACI - Aéronefs au-dessus de 2,25 tonnes

4.4.3 Directives pour les approches stabilisées

Pendant la phase de descente finale d'une approche, l'appareil doit être stabilisé pour permettre à l'atterrissage d'être mené en toute sécurité. L'EASA a précisé des critères pour définir une approche stabilisée (*AMC1 CAT.OP.MPA.115 – Approach flight technique*) : l'appareil doit être sur la trajectoire d'approche correcte (latéralement et verticalement), avec la vitesse, la vitesse verticale et la configuration (volets et train d'atterrissage) correctement ajustées.

Cette stabilisation doit être atteinte à une altitude minimum de 1000 ft (300 mètres) au-dessus du niveau du seuil de piste quand le pilote vole sans référence visuelle au sol, ou de 500 ft (150 mètres) quand le pilote a une référence visuelle au sol. Il faut noter que ces valeurs sont des limites recommandées : en réalité, les pilotes arrivent à stabiliser leur appareil dès que la descente finale est entamée. En considérant une pente de 3° (c'est le cas pour toutes les procédures à Bruxelles-National), une altitude de 1000 ft (300 mètres) devrait être atteinte aux alentours de 3 NM (5,5 km) avant le seuil de piste.

Dans la pratique, la plupart des compagnies et des opérateurs vont définir leurs propres critères de stabilisation et l'altitude minimum à laquelle ils doivent se situer dans leur SOP (Standard Operating Procedures).

Dans le cas d'une approche non-stabilisée, il est recommandé de faire une procédure de type « go-around » et d'enclencher une procédure d'atterrissage manqué. Pour les compagnies et les opérateurs, c'est une procédure obligatoire. Il est important de souligner le fait que c'est une procédure tout à fait normale, pour laquelle les pilotes sont entraînés. Même si cela peut paraître spectaculaire ou dangereux pour un observateur au sol ou un passager, il s'agit d'une procédure de sécurité.

Toutefois, lorsqu'une procédure d'approche manquée est initiée et que l'appareil initie cette procédure, l'impact sonore est beaucoup plus grand que lorsque l'approche est réussie. En effet, la poussée de l'avion permettant la remontée de celui-ci est similaire à celle d'un décollage standard, réalisée cependant à une altitude plus importante. Une deuxième tentative d'atterrissage est ensuite amorcée. Finalement, l'avion génère du bruit durant deux phases d'approches et l'équivalent d'une phase de décollage, au lieu d'une unique phase d'approche.

4.4.4 Menaces associées au vent arrière pendant la descente finale – Perspective du pilote

Lorsque la descente finale est initiée pour un atterrissage, le pilote va manœuvrer pour se stabiliser le plus rapidement possible. Dans le cas d'un vent arrière, l'avion aura une vitesse sol plus grande que sa vitesse par rapport à l'air (vitesse propre). Pour rester sur la pente de descente correcte, le pilote aura besoin d'abaisser le nez de l'avion. Cette action peut mener à une augmentation involontaire de la vitesse propre, en fonction des conditions du jour et de la capacité du pilote à réagir rapidement. Cette augmentation de la vitesse aura elle aussi comme conséquence la nécessité d'abaisser le nez de l'avion. Le vent étant en général plus fort en altitude, les actions entreprises par le pilote devront être plus prononcées au début de la descente finale.

En considérant ces éléments, mener une approche avec un vent arrière peut conduire, dans de rares cas, à une approche non-stabilisée, engendrant une vitesse excessive ou une altitude trop importante de l'appareil. Si une procédure d'approche manquée n'est pas déclenchée, les risques associés avec cet état du vol sont typiquement

un sur-échauffement des freins lors de l'atterrissage, qui pourrait immobiliser l'avion sur la piste pendant un certain temps, ou plus gravement une sortie de piste.

Les menaces associées aux approches avec vent arrière dépendent des conditions du jour et de la charge de travail du pilote au moment de l'approche. Un vent arrière sera un plus grand danger dans le cas d'une approche 2D sans guidage vertical que pour une approche basée sur un ILS, qui fournit un guidage latéral et vertical.

Un autre risque associé au vent pendant l'approche est le cisaillement. Dans ce cas, l'avion est confronté à un changement brutal de la direction du vent ou à un changement brutal de la vitesse du vent, menant à une variation rapide de la vitesse de l'avion. Si le vent change rapidement d'un vent arrière à un vent de face, cela peut apporter un gain de vitesse propre très fort, où les ailes développeraient soudainement plus de portance. Bien que cela puisse déstabiliser l'avion, il ne s'agit pas de la plus importante menace. Si le vent change brusquement d'un vent de face à un vent arrière, ou bien qu'un fort vent de face diminue violemment, cela engendrerait une perte brutale de vitesse propre. Dans ce cas, les ailes génèrent soudainement moins de portance, et, si aucune action n'est entreprise, il y a un risque de décrochage. Cependant, des systèmes d'alarmes de cisaillement équipent maintenant les avions transportant des passagers (comme l'A320 ou le B737) et les compagnies ont développé des procédures pour faire face à ces situations.

4.5 Les procédures de départ

Le texte suivant décrit la situation pendant un vol IFR (Instrument Flight Rules), vol aux instruments. Une grande majorité des vols commerciaux se font avec l'IFR. Ceux qui ne le font pas (l'aviation générale principalement) volent avec les règles de vol à vue (VFR, Visual Flight Rules). Avec le VFR, il n'y a généralement pas de route définie. C'est pourquoi les paragraphes suivants concernent les vols IFR.

4.5.1 Le fonctionnement d'une procédure de départ

Une procédure de départ aux instruments est une série d'instructions publiées qui mènent un aéronef à suivre une trajectoire, du décollage jusqu'à une certaine altitude où il rejoint la phase suivante de son vol (typiquement, la suite de la montée jusqu'à l'altitude de croisière). La procédure de départ commence à partir du moment où l'aéronef décolle (moment où les roues quittent le sol) jusqu'à un certain point sur une carte.

Une procédure de départ est appelée SID pour Standard Instrument Departure. Généralement, plusieurs SID sont publiés pour chaque aéroport, ce qui fournit un guide pour la piste utilisée et la direction finale du vol.

Ces procédures publiées consistent en une carte qui détaille les points de navigation, les restrictions et qui donne une liste d'instructions. Sur la carte, une route est dessinée, indiquant la trajectoire théorique de l'avion.

Il est important de comprendre que cette trajectoire dessinée n'est pas la trace au sol que l'aéronef suivra en réalité. La SID, ou procédure de départ, n'est pas appliquée par les pilotes en suivant une route dessinée mais en suivant strictement une liste d'instructions. De tels instructions peuvent être de commencer un virage à une altitude donnée ou à une certaine distance d'un point. En fonction des performances des aéronefs et des conditions du jour, cette altitude sera atteinte à des distances différentes après le décollage.

Les routes de départ peuvent avoir plusieurs buts (ce qui est le cas de celles de Bruxelles-National) :

- Un but de sécurité: assurer que les avions volant aux instruments seront séparés des obstacles au sol mais aussi établir le plus rapidement et le plus systématiquement possible une séparation entre les différentes SID, les routes d'arrivée (STAR) et les procédures d'approche, en faisant voler les avions dans des zones géographiques différentes.
- Un but de capacité car la séparation géographique de ces SID entre elles et des SID et des STAR et procédures d'approche permet une maximisation de l'occupation de l'espace aérien.
- Un but de réduction des nuisances sonores en faisant voler les avions au-dessus de zones voulues et selon un profil de vol choisi (NADP). L'aspect réduction de bruit des SID pour l'aéroport de Bruxelles-National étant très important.

Pourquoi tous les avions ne suivent pas la même route dessinée sur la procédure de départ ?

Une procédure de départ étant une suite d'étapes/d'instructions et pas une trajectoire fixe, il est normal, et inévitable, de voir une dispersion autour des tracés publiés sur les cartes des procédures.

guidage plus spécifique, en fonction de l'état du trafic et des requêtes des pilotes. Toutefois, quel que soit le départ, ils respectent toujours strictement les contraintes publiées.

Comme montré ici, une procédure RNAV1, c'est-à-dire utilisant un cadre PBN, ne veut pas forcément dire que la dispersion sera évitée. La PBN apporte beaucoup d'avantages, mais il ne peut pas éviter la dispersion expliquée ci-dessus, à moins qu'un point spécifique soit créé sur les cartes pour indiquer le début d'un virage. Mais même dans ce cas, étant donné les différents taux de roulis et rayons de virage, une dispersion sera toujours observée (voir aussi la partie 4.7 Dispersion des trajectoires).

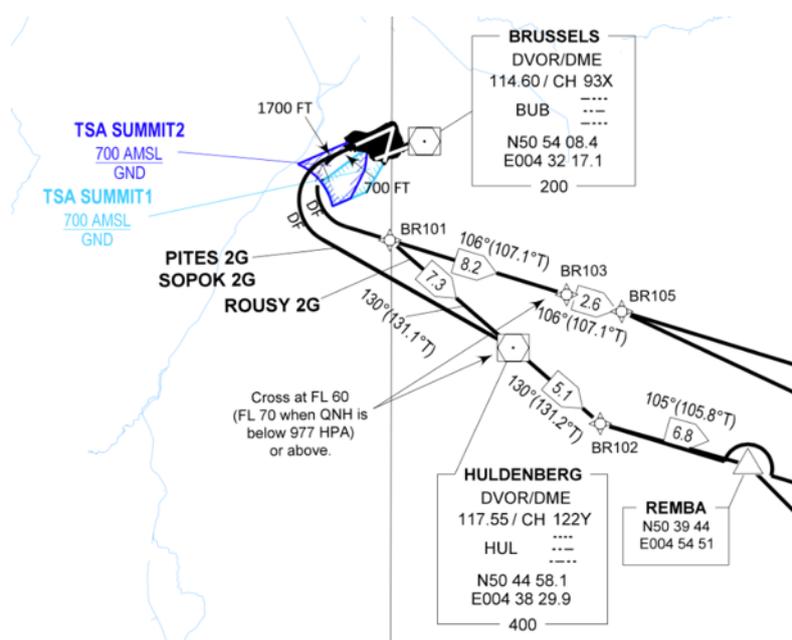


Figure 35 : La procédure PITES 2G dans la SID

La dispersion observée autour des trajectoires publiées est normale et ne peut pas être évitée avec ce type d'instruction (virage à 1700 ft). Le même avion, sur plusieurs départs, en fonction des conditions météorologiques du jour et de sa masse, aura lui aussi un point de début de virage différent à chaque départ.

Ainsi, pour une piste et un départ donné, les populations survolées peuvent avoir un sentiment de manque de suivi de la procédure de départ, en voyant les avions décrire des tracés différents en un seul jour. Cela peut être facilement vérifié en regardant les trajectoires sur des applications qui donnent les tracés et la position en temps réel des avions.

Enfin, une fois que la procédure de départ est entamée (immédiatement après le décollage), il est possible que le pilote ou le contrôleur du trafic aérien demande une route différente. Cela peut arriver par exemple dans le cas d'un mauvais temps, de conflits de trafic, d'une demande d'une route plus courte (gain de temps et de carburant), etc. Dans ce cas, l'aéronef ne va pas suivre la route publiée et créera une dispersion supplémentaire.

4.5.2 Les procédures de départ à Brussels-National (au 16 juin 2021)

Brussels-National, comme d'autres aéroports majeurs, a plusieurs trajectoires de départs, selon :

- La direction du départ
- La piste utilisée
- La capacité RNAV de l'appareil

Il est possible de trouver une route quel que soit les paramètres cités ci-dessus. Certains départs appelés « Route du Ring », « Route du Canal », « Route Delta » et Route avec virage gauche » volent au-dessus – ou très proche – de la ville de Bruxelles. Ci-dessous est décrite une de ces procédures.

Route du Canal (au 16 juin 2021 – AIP p.53 28/01/21]

La Route du Canal est la procédure de départ appelée CIV 2D, spécifique à la piste 25R. Ici est montré un extrait du schéma de la procédure :

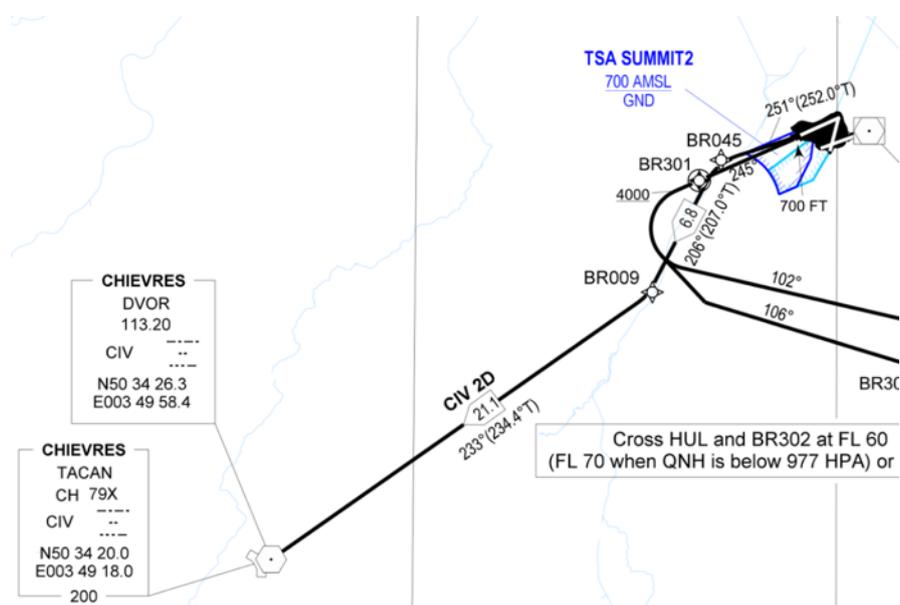


Figure 36 : Route CIV 2D sur la procédure de départ

En transparence avec la carte de Bruxelles, voici les zones survolées :

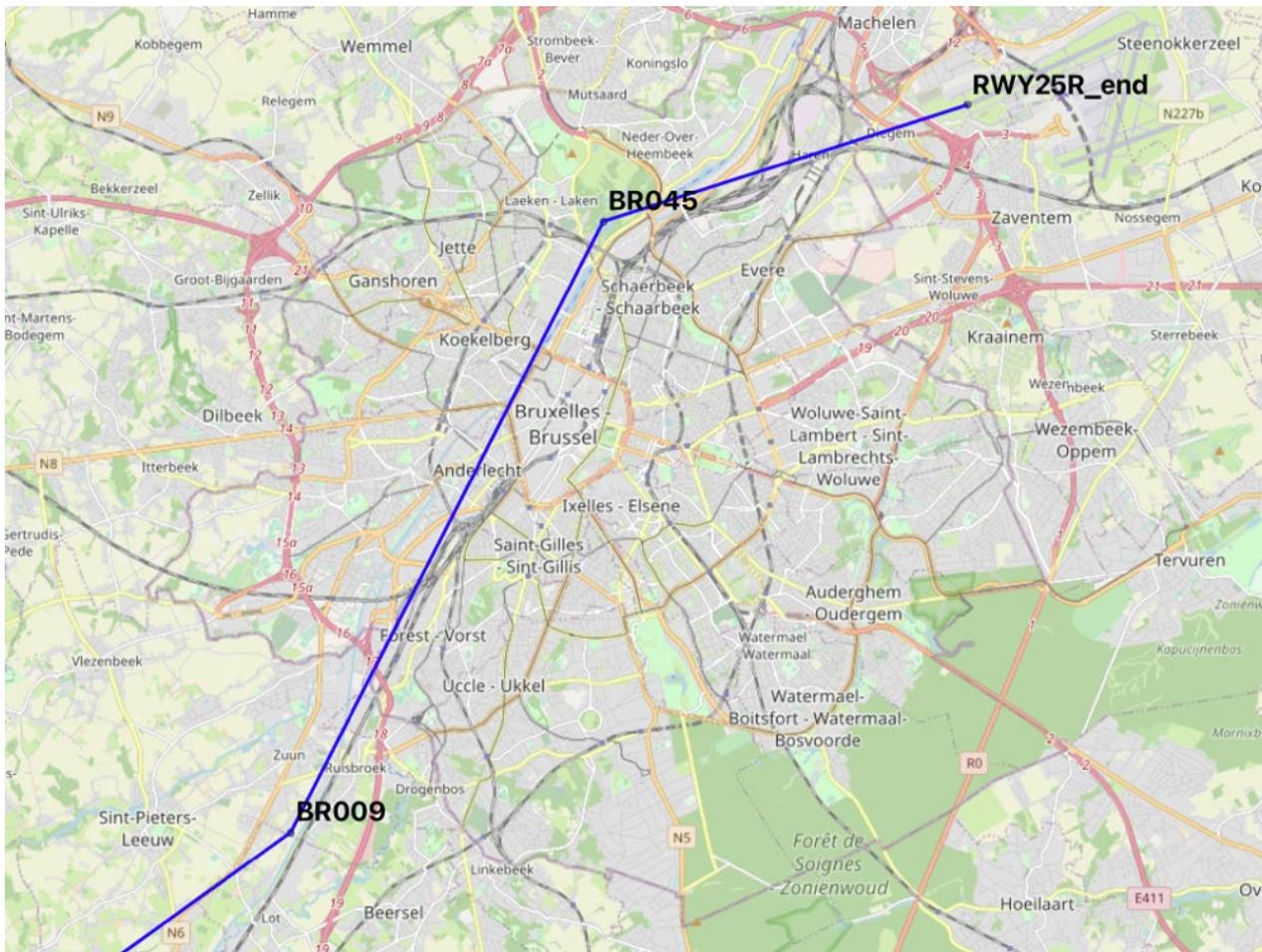


Figure 37 : Communes survolées par la route du Canal

4.6 PBN – Performance Based Navigation

L'explication suivante concerne l'utilisation de la PBN pour l'aviation commerciale (qui vole selon l'IFR). Elle exclut le point de vue de l'aviation générale (qui vole avec les règles de vol à vue (VFR) ou les avions militaires, qui sont moins concernés.

Il est à noter que cette section n'est pas un manuel sur la PBN, ou un manuel d'entraînement. Cette section n'a pas l'intention de fournir aux professionnels du secteur de l'aviation tels que les pilotes, un savoir nécessaire pour leur mission. Les concepts expliqués ici sont popularisés dans le but de les rendre plus accessibles. D'importantes précisions techniques sont volontairement omises. Cette section n'a pas vocation à entraîner des personnes à piloter.

4.6.1 Résumé

La PBN est un concept. Ce n'est pas une technologie, ni un système. Cependant, elle s'appuie sur des technologies, des systèmes et des techniques. Certaines sont connues sous le nom de GPS ou RNAV. Avec la complexité des appellations, il est facile de confondre les différences entre tous ces termes et ce que chacun signifie.

La PBN (Performance Based Navigation, Navigation Basée sur les Performances), est basée sur l'Area Navigation (RNAV, Navigation de surface). La RNAV est permise par les ordinateurs de bord qui utilisent des informations provenant de multiples sources : balises au sol, systèmes inertiels à bord et satellites. La RNAV permet à un avion de voler en suivant des points virtuels, définis seulement par des coordonnées géographiques. Avant cela, les avions utilisaient la navigation basée sur des stations au sol, appelée navigation conventionnelle, limitée par le relief et la disponibilité des balises au sol.

La Navigation Basée sur les Performances, PBN, est la rationalisation globale de ce nouveau type de navigation. Elle vise à définir ce qui peut ou ce qui ne peut pas être fait en fonction d'un équipement à bord donné. Les espaces aériens, les routes et les procédures peuvent ensuite être classées selon les exigences PBN qu'un aéronef a besoin pour les utiliser. Si l'aéronef ne remplit pas les exigences requises pour une certaine procédure ou une certaine route, selon ses systèmes de bord, il ne peut pas la suivre.

La PBN est souvent confondue avec la navigation GPS (strictement parlant le GNSS – Global Navigation Satellite System, le GPS étant un type de GNSS). Le GNSS est une des technologies servant au PBN, parmi d'autres telles que la navigation inertielle, ou les balises au sol DME. Toutefois, le GNSS est essentiel pour beaucoup de procédures PBN – les procédures d'approche PBN (appelées procédures RNP) requièrent des systèmes de réception GNSS à bord.

La PBN est donc un cadre qui définit comment/qui peut utiliser la navigation de surface et la navigation GNSS. Il permet une nouvelle utilisation de l'espace aérien : des routes et des procédures optimisées et plus courtes, un coût associé à la maintenance des balises au sol diminué, des économies de carburant, moins d'émissions. L'harmonisation globale des appellations PBN et des exigences est un travail qui se poursuit. Le développement global des procédures PBN est aussi en cours.

4.6.2 Evolution de la navigation aérienne

Au début de l'aviation, la navigation aérienne consistait à trouver une route avec l'aide de repères au sol (forêts, villes, routes, lumières de balise...) et d'instruments à bords basiques (comme le compas magnétique). Puis est apparu la radio, permettant une communication entrante et sortante et un guidage au sol ainsi que l'écoute des signaux de navigation. Toutes ces méthodes étaient assez imprécises et dépendantes des conditions du jour (tel que la visibilité et le plafond nuageux).

4.6.2.1 Aides à la navigation

Une aide à la navigation au sol est une balise construite et maintenue, qui envoie des informations à un récepteur dans l'aéronef via des ondes électromagnétiques.

Les premières aides à la navigation au sol étaient les NDB (Non-Directional Beacon, Balise non-directionnelle), en conjonction avec un ADF (Automatic Direction Finder, Détecteur automatique de direction) dans l'aéronef pour lire les informations. Même si elles sont encore utilisées de manière sporadique aujourd'hui, elles tendent à disparaître à cause de leur imprécision.

Dans les années 1930-1940 sont apparus les premiers VOR (VHF Omnidirectional Range). C'est devenu une référence en matière de navigation aérienne pendant des décennies et les VOR sont encore largement utilisés aujourd'hui. Les VOR peuvent être utilisés pour toutes les phases de la navigation : décollages, en-route, approches et arrivées. Ils permettent de définir la position des aéronefs par rapport à n'importe quel axe (une radiale) à partir du sol, tant qu'ils sont dans le champ des ondes électromagnétiques.

Puis, après la Seconde Guerre mondiale, l'ILS (Instrument Landing System) a été déployé et utilisé comme aide primaire aux atterrissages. Contrairement au VOR, l'ILS est seulement utilisé pour la phase d'atterrissage sur une piste spécifique. Il consiste en un signal localisateur (LOC) pour le guidage latéral et une pente d'approche pour le guidage vertical. Dans des conditions météorologiques défavorables, un ILS peut guider un avion depuis le début de la descente finale jusqu'à un point proche du sol où il a une meilleure chance de voir la piste pour l'atterrissage.

Dans les années 60, les DME (Distance Measuring Equipment) ont commencé à être utilisés, fournissant une information de distance à la balise. Ils peuvent être couplés à un VOR ou un LOC, améliorant l'information sur la position.

Les VOR, ILS et DME nécessitent des récepteurs spécifiques à bord, pour que chacun d'entre eux puissent montrer des informations au pilote. Ils nécessitent aussi une maintenance régulière effectuée au sol pour les garder en service.

La combinaison de ces aides à la navigation et des instruments de bord permet ce qui est appelé la **navigation conventionnelle**. Elle consiste principalement en des voies de navigation et des procédures de vol basées sur des routes d'une balise à l'autre ou sur des intersections d'axes. En effet, les possibilités de conception des routes sont limitées à la cartographie locale de ces aides.

Les désavantages d'une navigation conventionnelle, de balise à balise, étaient que cela rassemblait tous les aéronefs dans un nombre limité de routes, menant à la congestion, et les voies aériennes n'étaient pas tout le temps les plus courtes, ce qui augmentait le coût et la durée des vols. De plus, les aides au sol doivent être

régulièrement révisées, et l'indisponibilité à cause des travaux de maintenance rend la procédure basée sur ces aides inutilisable.

4.6.2.2 Avionique, ordinateurs de bord et navigation de surface

Dans les années 1970, les premiers systèmes avioniques numériques sont apparus. Ces systèmes peuvent fournir un guidage de la route et permettent d'utiliser des fonctionnalités basiques de navigation (comme les déviations de trajectoire). Bien qu'ils étaient initialement limités, leur développement a pavé la route à ce que nous connaissons aujourd'hui sous le nom d'Area Navigation (Navigation de Surface), également appelée RNAV.

La navigation de surface a augmenté considérablement les possibilités de conception de l'espace aérien. Au lieu d'utiliser seulement les aides au sol, les routes ont pu se baser sur des points virtuels créés à n'importe quel endroit voulu. Avec l'aide d'un ordinateur de bord pour la navigation, les aéronefs ont pu calculer leur position par rapport à ces points virtuels dans l'espace aérien. Les points virtuels de la navigation de surface sont définis via des coordonnées géographiques ou des positions par rapport aux aides au sol existantes et sont enregistrées dans une base de données de navigation régulièrement mise à jour.

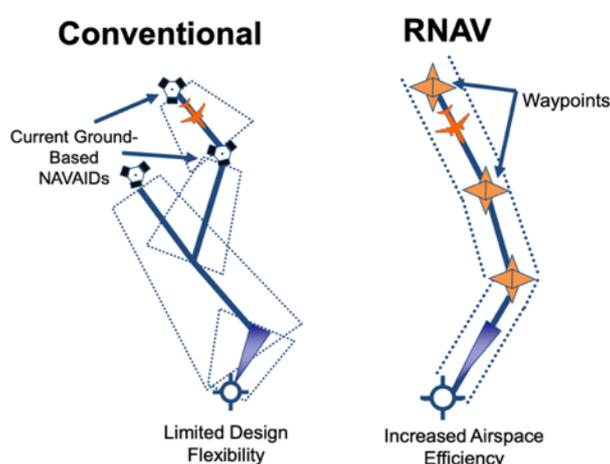


Figure 38 : Evolution de l'utilisation de l'espace aérien

La navigation de surface est définie par l'OACI⁴ comme : « Une méthode de navigation qui permet des opérations sur une trajectoire de vol désirée à l'intérieur de la couverture des aides de navigation au sol ou spatiales ou dans les limites des aides à bord, ou une combinaison de celles-ci. »

Cette définition implique que l'ordinateur de bord va calculer la position de l'appareil grâce à trois types d'aides : au sol (comme discuté plus haut), satellite ou embarqué. Avant l'arrivée des aides satellite (communément appelées « GPS » même si cela n'est pas le terme tout à fait exact pour l'aviation), le calcul à bord de la position de l'aéronef pouvait se faire à partir des deux autres aides : au sol et/ou embarqué.

⁴ ICAO Doc 9613 - <https://www.skybrary.aero/bookshelf/books/2991.pdf>

Nous avons discuté plus haut les aides au sol. Grâce aux capteurs de l'aéronef, l'ordinateur de bord peut définir sa position par rapport aux balises au sol dans un certain rayon, en rassemblant les informations des VOR et des DME et en connaissant leurs coordonnées géographiques.

Les aides embarquées sont principalement des IRS (Inertial Reference Systems – Systèmes de Référence Inertiels). La navigation inertielle se sert des accéléromètres et des gyroscopes pour intégrer l'accélération, la vitesse et la position de l'aéronef. La navigation inertielle était très importante lors du survol d'océans ou de déserts, où il n'y avait pas d'aides au sol installées.

En utilisant ces deux aides, les pilotes peuvent insérer des routes (des plans de vol) dans les ordinateurs de bord. L'ordinateur peut ensuite définir la position/la déviation relative par rapport à cette route et fournir une information pour guider l'aéronef.

4.6.2.3 Navigation satellite

La dernière addition et la dernière aide pour l'area navigation est l'aide basée sur le satellite, appelé GNSS (Global Navigation Satellite System). Un système GNSS utilise une constellation de satellites pour définir sa position. Même si l'on parle couramment de « GPS », ce terme fait en réalité référence à la constellation de satellites américaine, mais d'autres existent comme par exemple le système européen Galileo ou le système russe Glonass.

L'équipement GNSS à bord peut être complété avec des systèmes d'augmentation additionnels : un système de mesure des performances embarqué, un système d'augmentation du signal satellite, ou un système d'augmentation du signal au sol. Ces systèmes fournissent une précision supplémentaire pour certaines phases du vol qui en ont besoin. Par exemple, le GNSS en plus du SBAS (Satellite-Based Augmentation System) permettent des approches aux instruments « ILS-like », c'est-à-dire apportant une précision et des informations similaires à celles d'un ILS (toujours considéré comme la référence), mais sans installation et maintenance coûteuses d'une infrastructure au sol.

Ainsi, en plus de fournir un guidage performant quasiment partout sur la planète, le GNSS a permis la conception de procédures d'approche nouvelles, flexibles et moins coûteuses.

4.6.2.4 Conclusion

D'autres technologies qui n'ont pas été citées ici existent aussi mais elles ne sont pas pertinentes pour la compréhension des concepts abordés.

Pour conclure, la navigation avec les ordinateurs d'aujourd'hui peut définir très précisément la position d'un avion et fournir un guidage au pilote, grâce à une **combinaison d'aides au sol, satellites et embarquées**. Ces systèmes permettent une navigation de surface (**area navigation**), débloquant une conception optimisée de l'espace aérien, des routes et des procédures plus optimisées. Mais qu'est-ce que la PBN a à voir avec tout cela ?

4.6.3 Qu'est-ce que la Navigation Basée sur les Performances (PBN) ?

Avant toute chose, il est important de comprendre que la PBN est un concept : ce n'est pas une nouvelle technologie qui n'aurait pas été mentionnée dans les parties précédentes. La technologie de la navigation de surface a été développée avant que le terme PBN soit né. Cependant, la PBN est entièrement basé sur l'utilisation de la navigation de surface. En effet, la définition de la PBN par l'OACI est la suivante⁵ :

« *Navigation de surface basée sur des exigences de performance pour les aéronefs qui opèrent le long d'une route ATS, avec une procédure d'approche aux instruments ou dans un espace aérien désigné.* »

Où :

« *Les exigences de performance sont exprimées dans les spécifications de la navigation en termes de précision, intégrité, continuité et fonctionnalités nécessaires pour les opérations proposées dans le contexte d'un espace aérien particulier. La disponibilité du GNSS ou d'autres infrastructures d'aides à la navigation (NAVAID) est considérée à l'intérieur du concept d'espace aérien dans le but d'appliquer la navigation.* »

4.6.3.1 Pourquoi la PBN ?

Avant de rentrer dans les détails, la raison de mettre en avant le concept de la PBN est de standardiser le développement de la navigation de surface et de ses procédures partout dans le monde. La PBN vise à définir une application commune, standard, des techniques de navigation de surface : quels sont les exigences pour suivre une procédure de navigation de surface donnée, une route, un espace aérien ? Comment ces exigences de performance vont-elles être définies ? Comment les procédures seront-elles nommées ?

Dans la navigation conventionnelle, chaque système a été certifié, d'une façon standardisée, globale, selon ses performances et ses exigences : une approche qui utilise un ILS permet à un aéronef de descendre plus bas sans voir le sol, comparé à une approche VOR, grâce à un guidage plus complet. Pour qu'un aéronef s'engage dans des procédures d'approche spécifiques, un récepteur DME à bord peut être obligatoire par exemple. Comprendre ce concept aide à comprendre ce qu'est la PBN : c'est le même concept que « **que peut-il être fait et qu'est-il nécessaire dans une procédure/une route/un espace aérien donné** » mais, cette fois, **appliqué à la navigation de surface**.

La navigation conventionnelle était une navigation basée sur des récepteurs au sol. Au fur et à mesure que la navigation de surface s'est développée, la PBN a été mis en place dans le but de passer à une navigation basée sur les performances. Dans la classification PBN, chaque route, procédure, ou plus généralement espace aérien, se voit attribué des exigences de performance afin d'être utilisé.

4.6.3.2 Qu'est-ce que « basé sur la performance » signifie ?

Le terme « performance » est bien décrit dans la définition de l'OACI : il fait référence à la précision, à l'intégrité, à la continuité et aux fonctionnalités nécessaires pour ce type de vol. Ces exigences impliquent des équipements et des récepteurs spécifiques à bord de l'aéronef. En fonction de la phase de vol de l'aéronef, la performance requise diffère logiquement : la phase de vol en-route est moins contraignante que la phase d'approche.

⁵ ICAO Doc 9613

Sans entrer dans des détails techniques, suivre une approche nécessite la capacité de fournir un guidage sur un segment très étroit, alors que voler en-route ou voler sur des routes océaniques peut tolérer moins de précision. Les exigences PBN seront plus hautes pour des procédures d'approche que pour des procédures en-route ou même des zones terminales (terminal areas) avec un fort trafic.

Ces conditions/exigences de performance sont appelées **spécifications de navigation**.

4.6.3.3 RNAV et RNP

RNAV et RNP sont deux catégories de spécifications de navigation.

Il faut noter que **l'acronyme RNAV ne réfère pas à la même chose si l'on parle des spécifications de navigation, ou simplement de la navigation de surface**. La navigation de surface en général a été abrégée en RNAV, et le même mot réfère à un type de spécification de navigation. Bien sûr, les sens de chaque définition sont corrélés, mais il faut être au courant de ces deux aspects du mot RNAV quand on lit des documents officiels.

Dans ce paragraphe, le mot RNAV fait référence à la spécification de navigation. L'autre type de spécification est RNP (Required Navigation Performance). Il y a une seule différence entre ces deux types : les spécifications RNP requièrent un système de surveillance et d'alerte des performances embarqué à bord, alors que les spécifications RNAV ne le requièrent pas. Ensuite, pour chaque type, RNAV ou RNP, il y a différentes spécifications (RNAV 5, RNAV 1, RNP 1, RNP APCH, etc).

Les spécifications de navigation RNAV sont d'habitude nécessaires pour les routes océaniques, l'en-route et quelques zones terminales nécessitant moins de précision. Au contraire, les spécifications RNP étant plus performantes, elles sont appliquées aux procédures d'approche (c'est pourquoi nous appelons maintenant les procédures d'approches PBN des procédures RNP). Les spécifications RNP ne sont pas seulement plus précises, mais elles requièrent également une meilleure intégrité des systèmes.

Certaines spécifications de navigation requièrent des systèmes de navigation à bord modernes et technologiquement plus avancés. Même si la plupart des avions commerciaux sont équipés afin de satisfaire quasiment toutes les spécifications de navigation PBN, ce n'est pas toujours le cas pour certaines spécifications RNP. Ainsi, un avion ne serait pas autorisé (et ne serait pas en capacité) à voler certaines procédures spécifiques qui requièrent un niveau de spécification plus élevé.

Avec des niveaux de performance plus élevés, les spécifications RNP permettent aussi d'avoir des zones restreintes plus petites, et des nouveaux types de conception des voies aériennes : des tracés incurvés – appelées RF (Radius to Fix). Avant cela, concevoir une trajectoire incurvée était seulement possible en utilisant des DME (avec des voies appelées arcs DME). Avec des spécifications RNP précises, il est possible de suivre une trajectoire incurvée centrée sur un point virtuel qui n'a même pas besoin d'être défini ou d'être montré sur une carte. Deux points quelconques peuvent à présent être liés par un tracé courbe. Cependant, tous les aéronefs ne sont pas équipés pour remplir les spécifications RNP nécessaires au suivi de ces segments RF.

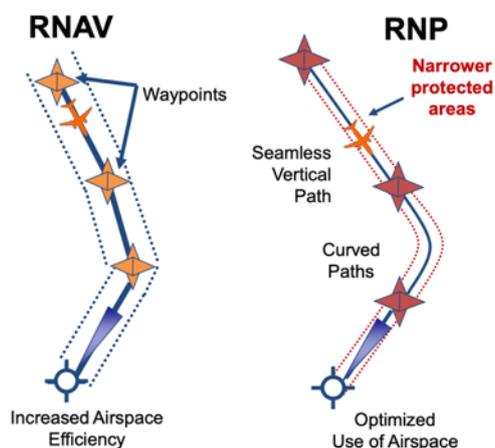


Figure 39 : Différences de navigation entre RNAV et RNP

4.6.3.4 Certification du pilote

La PBN requiert des systèmes de bord certifiés mais aussi des pilotes qualifiés pour suivre ces routes. La qualification PBN apparaît maintenant sur les licences des pilotes quand ils remplissent les entraînements théoriques et pratiques associés. Elle est obligatoire pour voler dans n'importe quel espace aérien PBN, ou pour suivre n'importe quelle route ou procédure PBN.

4.6.4 Procédures d'approche RNP

Etant donné la haute précision et l'intégrité du système nécessaire pour suivre une approche, par définition proche du sol, les spécifications de navigation RNP sont logiquement utilisées pour les approches.

Comme discuté, les procédures d'approche utilisant les techniques de navigation de surface (Area Navigation, RNAV faisant référence ici à la technologie, pas aux spécifications de navigation RNAV) sont développées partout dans le monde, mais il y a un souci d'harmonisation. Etant donné que les spécifications de navigation RNP sont basées sur le GNSS et les techniques de navigation de surface, on peut voir certaines procédures d'approche qui sont nommées « RNAV (GNSS) », « RNAV (GPS) », « RNAV (RNP) », « RNP », etc. Dans le but d'harmoniser les appellations, l'OACI a prévu que toutes les approches avec des spécifications de navigation RNP seraient appelées approches « RNP » d'ici fin 2022.

4.6.5 Avantages de la PBN

La PBN est la structure qui incorpore toutes les technologies, systèmes et types de procédures qui permettent un grand nombre d'améliorations pour la navigation aérienne. Certaines de ces améliorations sont uniquement basées sur la navigation de surface, d'autres requièrent des systèmes GNSS avancés à bord. Les avantages de la PBN sont :

- Des routes plus flexibles – les concepteurs des espaces aériens et des procédures peuvent maintenant définir des routes basées sur n'importe quel point virtuel créé dans ce but. Les performances des balises sont parfois limitées, mais certaines spécifications de navigation (surtout les RNP) permettent des trajectoires de vol plus serrées et plus précises.
- Les procédures RNP permettent généralement des trajectoires plus précises. En regardant certaines traces radar pour des avions qui utilisent la navigation conventionnelle et la navigation PBN, on peut facilement voir la différence.
- En créant des routes et des procédures plus efficaces, il y a un gros potentiel de réduction du carburant consommé et des émissions.
- Les procédures RNP autorisent l'absence de balises au sol. Les aides au sol impliquent des coûts de maintenance, donc la PBN est une opportunité de faire des économies.
- Certains aéroports n'avaient pas l'équipement au sol nécessaire (ILS) pour des approches de précision, équipement qui permet des atterrissages avec une visibilité et un plafond assez bas. Ces aéroports ne pouvaient pas être atteints dans des conditions météo dégradées. Maintenant ils peuvent bénéficier des nouvelles procédures RNP qui permettent des approches similaires à celles avec un ILS (ILS-like), ce qui améliore leur accessibilité dans des conditions mauvaises.

4.6.6 Ce que la PBN ne permet pas

Même si la PBN a beaucoup d'avantages comme ceux cités ci-dessus, il est important de comprendre que certaines limitations sont toujours présentes.

La conception d'espaces aériens et de procédures remplissent des critères très strictes. Que ce soit l'utilisation de la navigation conventionnelle ou PBN, publier une nouvelle procédure d'approche est un processus long et coûteux qui nécessite de la modélisation et de l'ingénierie dans le but de se conformer au dégagement d'obstacles et aux limitations des performances selon les différentes classes d'avions. Il est possible qu'il faille plus d'un an pour concevoir, certifier et publier une nouvelle procédure.

De plus, les procédures d'approche RNP respectent une standardisation dans leur conception. Même si la PBN permet plus de flexibilité, les procédures d'approche sont toujours limitées par l'orientation de la piste, la topographie et les obstacles, et les performances des appareils qui requièrent une distance de sécurité en ligne droite pour la configuration d'atterrissage et la stabilisation.

Ainsi, la PBN n'est pas une solution miracle. Il ne va pas empêcher les avions de produire du bruit lors des arrivées et des départs. Utiliser une procédure RNP (PBN) ou ILS (conventionnelle) pour la phase d'approche produira vraisemblablement la même charge de bruit pendant la descente finale : l'atterrissage reste toujours un atterrissage, et l'avion a toujours besoin du même segment final de sécurité, latéral et vertical, pour la stabilisation. Toutefois, les segments initiaux et intermédiaires d'une approche (avant le segment de la descente finale) peuvent être améliorés en utilisant la PBN et, dans certaines circonstances, il pourrait permettre de réduire le bruit pour quelques populations.

4.6.7 Pourquoi ne pas utiliser la PBN plus largement ?

Etant donné ce qui a été dit précédemment, on pourrait considérer utiliser uniquement les procédures PBN et décommissionner les aides à la navigation au sol conventionnelles. Cependant, il y a des limitations à cette idée, pour les raisons suivantes :

- Même si la majorité des avions de transport de passagers sont équipés avec des équipements suffisants pour leur permettre d'utiliser des trajectoires RNAV et RNP, certains ne le sont pas. Dans l'aviation générale, il est aussi probable de trouver certains aéronefs qui ne sont toujours pas équipés pour la navigation basée sur les performances. Lorsqu'ils volent en IFR, ils ont toujours besoin de routes et de procédures conventionnelles.
- Le monde de l'aviation repose sur des redondances : beaucoup d'aéronefs ont des systèmes de secours en cas de panne. La PBN s'appuie beaucoup sur la technologie GNSS et la navigation avec les ordinateurs de bord. Ces technologies sont maintenant élaborées mais elles sont plus récentes que celles utilisées en navigation conventionnelle. Il est commun pour certains opérateurs d'avoir recours à un back-up conventionnel pour les aéroports qui les autorisent à l'utiliser dans le cas d'une panne du GNSS ou de l'ordinateur de bord. Ainsi la navigation conventionnelle est une solution de secours pour la PBN et a toujours besoin d'être maintenue. Les satellites sont prêts et disponibles la plupart du temps, cependant il arrive parfois que leur signal soit haché ou qu'ils deviennent simplement indisponibles pendant des créneaux spécifiques.
- L'ILS est toujours le type d'approche de référence aujourd'hui. Malgré tous leurs avantages, les procédures d'approche RNP ne fournissent pas (pour l'instant) les mêmes performances qu'un ILS qui, pour certains types d'ILS tels que CAT III, peuvent guider un avion jusqu'au sol avec une visibilité nulle. Enfin, les pilotes sont encore habitués à utiliser les procédures ILS la plupart du temps quand elles sont disponibles.

4.7 Dispersion des trajectoires

Pour toutes les différentes étapes d'un vol, un avion en régime de vol IFR va enchaîner une succession de procédures pour effectuer son trajet : départ, croisière, arrivée et approche. Durant chaque étape, le type de procédure utilisée peut varier : conventionnelle, PBN...etc. De plus, au sein de chaque catégorie, différentes exigences d'écart de trajectoire existent.

Chaque procédure étant une série d'instructions plutôt qu'un rail, il est normal qu'il existe une dispersion des trajectoires autour de la trajectoire « idéale » telle qu'elle serait représentée sur une carte. Cette dispersion est due, comme expliqué ailleurs dans ce rapport, à plusieurs facteurs dont :

- Les différences de performance entre chaque type d'appareil
- Les conditions météorologiques du jour et du lieu
- Les petites imperfections normales et prévues qui existent au niveau des systèmes de navigation

Afin de cadrer l'écart maximum autorisé autour de la trajectoire « idéale » d'une procédure, chaque type de système utilisé possède une tolérance publiée, qui autorise un appareil à s'écarter d'une certaine distance de la trajectoire idéale, tout en maintenant le même niveau de sécurité et d'écart par rapport aux obstacles.

Dans le cadre de l'aéroport de Bruxelles, nous nous intéresserons ici aux systèmes utilisés pour les procédures de départ, d'arrivée et d'approche. Nous allons préciser les tolérances appliquées pour chacun ainsi que les écarts de trajectoire qui pourraient en découler.

4.7.1 Procédures PBN

La partie précédente (4.6) traite en détail de la PBN. L'écart autorisé lors d'une procédure PBN est très clairement défini en termes de distance par rapport à la trajectoire idéale ou en termes d'écart d'angle lors d'une approche. On parle de « TSE » (Total System Error). Elle correspond à l'exigence de précision latérale de navigation requise durant 95% du temps de vol.

Cette erreur maximale tolérée correspond au nombre, exprimé en milles nautiques (1 NM = 1,852 km), indiqué après les termes « RNAV » ou « RNP » accompagnant les procédures PBN. Par exemple, pour un secteur donné, la spécification « RNAV 5 » signifie que la TSE doit être inférieure à 5 milles nautiques (9,26 km) 95 % du temps. La TSE comprend les erreurs pouvant provenir des différents composants intervenant dans la navigation (les récepteurs ou les calculs de l'ordinateur de bord par exemple). Cela signifie que l'appareil peut se trouver à 9 km à gauche ou à droite de la trajectoire idéale, tout en respectant les exigences de suivi de navigation pour ce secteur.

Comme expliqué dans la partie précédente sur la PBN, la différence entre un secteur/une route RNAV et RNP est que l'exigence RNP impose d'avoir une fonction embarquée de surveillance et d'alerte des performances de navigation. Cette fonction a pour but de détecter n'importe quelle défaillance ou erreur qui empêcherait l'appareil de suivre la trajectoire préconisée.

Il est important de rappeler que, dans la grande majorité des cas, les systèmes de navigation actuels permettent de suivre les trajectoires publiées avec des précisions fortes, et les écarts de trajectoire observés restent minimes. Il est loin d'être commun de voir un avion sur une route RNAV 5, se tenir à presque 5 NM de sa trajectoire idéale.

L'attribution des valeurs d'écart maximal X (RNAV X ou RNP X) dépendent du type de secteur ou de route. Les secteurs « en-route » éloignés, en zone océanique, peuvent par exemple se faire en RNAV 10. Un secteur « terminal », proche d'un aéroport, avec une forte densité de trafic, pourra quant à lui avoir une spécification PBN RNP 1, beaucoup plus précise et contraignante que la RNAV 10.

Ces spécifications sont publiées et, autour de l'aéroport, les cartes de départ, d'arrivée et d'approche précisent la spécification en vigueur pour suivre la procédure concernée. Sur l'exemple ci-dessous, il s'agit d'une procédure de départ effectuée en RNAV 1.

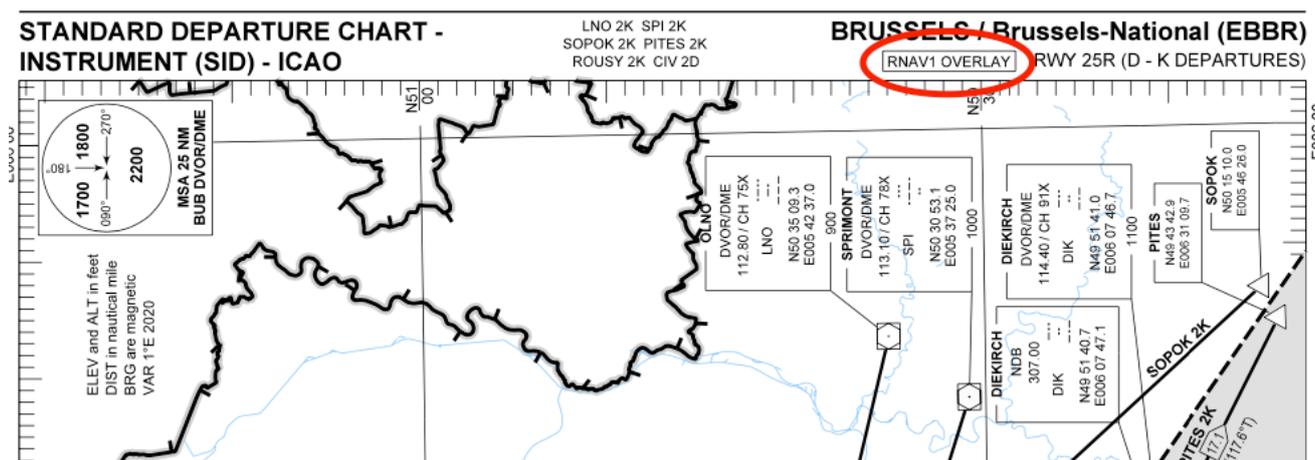


Figure 40 : Extrait d'une carte de procédure de départ RNAV1

Dans le cadre des approches, spécifier un écart latéral constant, qui plus est de l'ordre de 1 NM, ne permet pas de réaliser une arrivée sur la piste avec la précision nécessaire pour se retrouver pile sur l'axe de la piste et le plan de la finale. Une spécification RNP APCH existe, permettant de spécifier un écart maximal encore plus faible puis un écart angulaire permettant de créer un « cône » de tolérance jusqu'à la piste.

4.7.1.1 Procédures de départ

Les procédures de départ PBN à Bruxelles-National sont toutes RNAV 1. Cela signifie que l'écart de trajectoire maximal normalement observé est de 1 NM (1,852 km) de chaque côté de la route théorique.

Attention cependant à ne pas confondre « route théorique » et tracé sur la carte de la procédure. Comme expliqué dans la partie 4.5 sur les procédures de départ, une procédure de départ est une succession d'instructions, ne correspondant pas nécessairement à un tracé fixe. Le premier virage ayant parfois lieu à partir d'une altitude donnée et non d'un point fixe, le lieu auquel l'altitude est atteinte sera différent pour chaque appareil et selon les conditions du jour. L'ordinateur de bord d'un avion donné va construire une route théorique à partir des informations de la procédure. Cette route théorique sera différente sur un autre appareil.

Généralement, les procédures de départ demandant un virage à partir d'une certaine altitude ne font intervenir ce type d'instruction que pour le premier virage de la procédure. Les virages suivants sont effectués au passage d'un point cette-fois ci fixe « waypoint » quel que soit le type d'appareil ou les conditions du jour. La route théorique les reliant est donc beaucoup plus semblable d'un appareil à un autre, mais quelques différences

subsistent cependant. Ces points fixes existent également pour toutes les autres routes reliant des points comme les procédures d'approche, ces techniques de codage n'étant pas propres aux procédures de départ. Les différents points fixes d'une procédure sont définis par des coordonnées géographiques Latitude/Longitude représentant un point virtuel défini dans les bases de données ou une balise physiquement présente au sol. Il existe deux manières d'effectuer un virage, lorsqu'un avion approche d'un de ces points et doit entamer son virage :

- Technique du « fly-by » : l'avion vire avant d'atteindre le point, afin de rejoindre la branche suivante de sa route sans dépasser le point.
- Technique du « flyover » : l'avion entame son virage une fois le point passé.

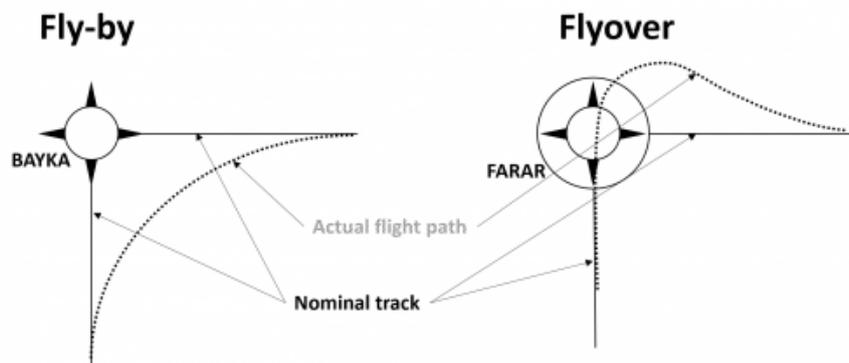


Figure 41 : Fly-by et Flyover

Les points en fly-by ont trois principaux avantages par rapport à ceux en flyover :

- La transition d'une route à l'autre est plus courte
- La trajectoire est plus lisse car il n'y a qu'un seul virage à opérer
- La zone de transition est plus petite

Sur une procédure, hormis quelques exceptions (par exemple : premier point d'une remise de gaz, premier point d'une procédure de départ), tous les points se survolent généralement en fly-by. En effet, ils sont plus efficaces. L'arc de cercle reliant les deux branches successives va varier en fonction du type d'appareil : les plus lourds auront un virage plus large et l'entameront donc avant les plus petits, ce qui les amènera à couper plus à l'intérieur du virage, amenant une déviation de trajectoire normale supplémentaire. Les points en flyover sont normalement utilisés seulement pour s'assurer qu'un avion passe au-dessus d'un point précis comme un point d'approche manquée ou à des endroits qui nécessitent de faire attention au relief, ou encore pour éviter un autre espace aérien. Dans le cas du flyover aussi la trajectoire finale n'est pas prévisible, elle dépend du type d'avion.

Pour résumer, les écarts autour de la trajectoire théorique représentée sont de différents ordres lors d'une procédure de départ RNAV 1 :

- La TSE (erreur acceptée pour cette procédure) représente un couloir de 3,7km de large
- Les instructions de la procédure de virer à partir d'une certaine altitude amènent chaque appareil à entamer son premier virage à un point différent
- Les virages autour des points suivants sont effectués avec un angle de virage différent pour chaque appareil.

Ces éléments expliquent pourquoi il est normal d'observer une dispersion des trajectoires. En prenant les traces radar des départs sur une procédure RNAV 1, il serait normal d'observer des écarts supérieurs à 1NM (1852 km) de la trajectoire théorique dessinée sur la carte de la procédure, car se combinent les écarts provenant des erreurs incluses dans la TSE, mais également les écarts dus aux différentes trajectoires théoriques calculées selon le type d'appareil et les conditions météorologiques du jour.

Si l'on s'en tient à un type d'appareil donné sur un jour donné, l'écart peut être de 1852 km de chaque côté de la trajectoire, soit un couloir de 3,7 km de large dans lequel un avion peut évoluer tout en étant considéré comme respectant la procédure de départ.

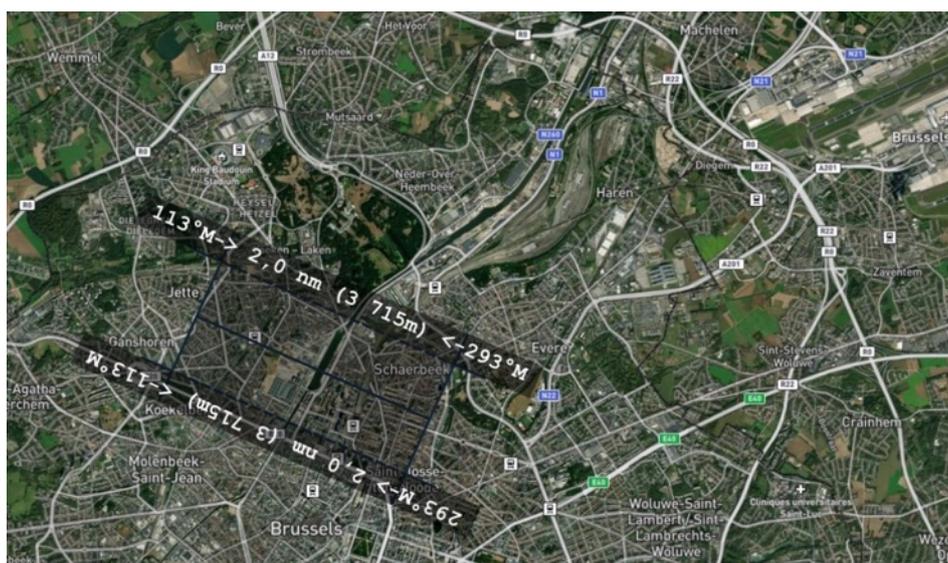


Figure 42 : Exemple montrant la largeur du couloir possible pour la route du Canal

4.7.1.2 Routes d'arrivées standardisées

A Bruxelles-National, les procédures d'arrivée STAR sont également en RNAV 1. Elles représentent le segment de la phase de vol qui commence à la fin de la phase de croisière et qui permet à l'avion de rejoindre l'IAF (Initial Approach Fix) à partir duquel l'avion pourra commencer la procédure d'approche pour une piste spécifique afin d'atterrir. C'est une succession de points fixes, tout comme pour les procédures de départ, mais sans instruction d'initier un virage à partir d'une certaine altitude. Les trajectoires théoriques créées varient donc d'un appareil à un autre, mais théoriquement moins que lors du premier virage après une procédure de départ.

4.7.1.3 Procédures d'approche

Pour une procédure d'approche PBN, la spécification de navigation RNP APCH est en vigueur. Elle se base sur la technologie GNSS. Plusieurs types de guidage existent (voir les explications sur les procédures RNP PBN dans la partie 4.6). Quelques kilomètres avant le point FAF marquant le début de la descente finale, la précision latérale passe de 1 NM à 0.3 NM dans le cas le moins précis.

Dans les cas des procédures d'approche PBN les plus précises (LPV), l'indication d'écart de trajectoire devient angulaire : au fur et à mesure que l'appareil s'approche de la piste, la tolérance tant latérale que verticale diminue, forçant l'avion dans un cône de plus en plus étroit. Ces procédures LPV sont très proches de celles dites ILS.

Lors de la descente finale d'une procédure d'approche PBN, dernière étape avant l'atterrissage et donc le moment où l'avion se trouve le plus bas avant la zone de l'aéroport, l'appareil suit donc une trajectoire imposée plus précise que sur la route d'arrivée. Dans les cas des procédures à simple guidage latéral (LNAV), la précision est de 556 m de chaque côté de l'axe, soit un couloir d'un peu plus de 1 km de large dans lequel l'appareil se situe. Il est cependant important de noter que les procédures opérationnelles imposent aux pilotes de remettre les gaz lorsque l'appareil atteint plus de la moitié de la déviation autorisée : ainsi, le couloir imposé aux pilotes fait en réalité environ un peu plus de 500 m de large. Pour les procédures LPV, c'est également la moitié de l'écart angulaire total qui est autorisé.

4.7.2 Guidage radar ou « vectoring »

Lors des procédures d'approche ou le long des routes, il arrive de voir des avions hors des trajectoires publiées. Ils peuvent être amenés à survoler des villes normalement évitées par ces procédures. Il s'agit de guidages radar (également appelé « vectoring »), où le contrôleur aérien donne aux pilotes une série de caps et d'altitude à suivre afin de l'amener vers la finale de la piste sur laquelle il se posera. L'idée est d'axer l'avion face à la piste à une certaine distance lui permettant d'intercepter les signaux de l'ILS, ou d'une autre procédure en vigueur (VOR, RNP...). Cette mise sur l'axe peut se faire à un peu plus d'une dizaine de nautiques de la piste (environ 19 km) ou plus loin, dans le cadre de « longues finales ».

De même pour les procédures de départ : le contrôleur peut accorder un « direct » à un avion, lui permettant ainsi de raccourcir sa route en évitant de devoir survoler certains points de la procédure.

Le guidage radar permet aux contrôleurs de fluidifier le trafic, en permettant à certains avions d'avoir une trajectoire raccourcie, économisant ainsi du temps. Il permet donc aux avions de quitter la zone de Bruxelles plus rapidement pour les départs et d'atterrir plus rapidement pour les arrivées.

C'est une méthode employée dans la majorité des aéroports dans le monde, représentant une situation tout à fait normale. Cependant, les avions guidés sur des trajectoires qui ne sont pas celles des SID établies génèrent plus de bruit car ils peuvent survoler des zones densément peuplées que ces SID cherchent justement à éviter. En effet, les SID sont de plus en plus conçues pour limiter l'impact du bruit. Les procédures d'approche aussi, avec les descentes continues. Ne pas suivre les procédures constitue donc un manque de prévisibilité pour les populations, une dispersion des trajectoires, des profils verticaux qui ne sont pas optimisés et donc du bruit supplémentaire.

Les systèmes de suivi de navigation embarqués actuels sont extrêmement performants et, en situation normale, n'amènent normalement pas un appareil à s'éloigner sensiblement (aux limites de la tolérance) de sa trajectoire théorique. Voir un appareil hors de tout circuit est donc la conséquence d'un guidage radar.

Cette pratique apporte donc de la souplesse aux contrôleurs aériens pour la fluidification du trafic, mais en termes de bruit elle n'est pas efficace.

5 Les différentes métriques pour mesurer le bruit

Comme beaucoup d'autres problématiques environnementales, le bruit des avions a plusieurs dimensions. La plupart de ces dimensions prennent en compte la réaction des populations à ce bruit. Celles-ci sont relatives au niveau sonore, à la sensibilité variable de l'oreille humaine à différentes fréquences de son, à la fréquence des passages des avions, à l'heure du jour où un avion génère du bruit, et au nombre de passages qui se produisent durant une certaine période. Etant donné ces dimensions, plusieurs métriques pour le bruit des avions ont été développées. Les plus communes sont expliquées dans les paragraphes suivants.

5.1 La pondération 'A'

L'étendue normale des fréquences entendues pour un jeune adulte s'étend de 16 Hz à 16000 Hz. Cependant, l'oreille humaine n'a pas la même sensibilité à toutes ces fréquences. Celles situées entre 2000 et 4000 Hz ont l'air plus fortes que des fréquences plus basses ou plus hautes lorsqu'elles sont émises avec la même amplitude (la même intensité). Ainsi il est possible que deux sons différents possédant la même intensité soient perçus différemment, plus ou moins fort, par l'oreille humaine.

C'est pour cette raison que la pondération 'A' du niveau sonore (« A-weighted sound level » en anglais) a été développée. Un filtre pondéré 'A' ajoute un gain ou une atténuation pour plusieurs fréquences, d'une manière qui s'approche de la sensibilité de l'oreille humaine. Le but est de réduire l'amplitude des hautes et les basses fréquences mesurées par un sonomètre (ou modélisées), comme le fait l'oreille humaine. Le filtre a un effet de plus ou moins 3 dB dans les fréquences moyennes entre 500 et 10000 Hz et une atténuation qui augmente hors de cette plage. Bien que le filtre de pondération 'A' soit seulement une approximation d'un système physiologique complexe, un son jugé plus fort qu'un autre à la même intensité aura finalement un niveau sonore pondéré 'A' également plus fort. De la même manière, deux sons perçus comme équivalents en intensité auront généralement la même pondération 'A'. Un exemple de sons pondérés 'A' communément entendus est montré ci-dessous.

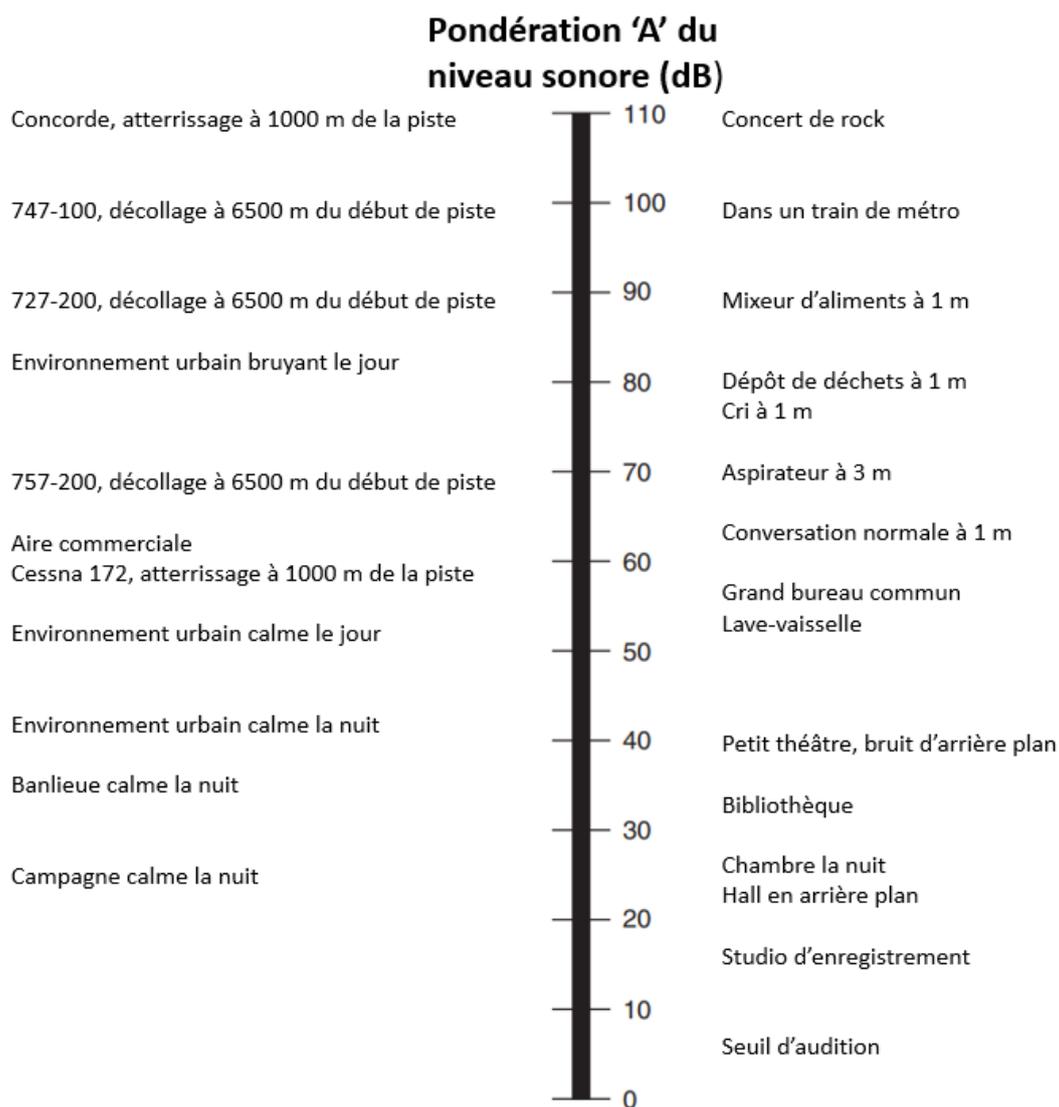


Figure 43 : Niveaux sonores de certains évènements avec la pondération 'A'

Les mesures réalisées en pondération 'A' sont généralement désignées par l'unité dB(A) pour annoncer que les informations sont en décibels pondérés 'A'. Comme dans d'autres exemples tels que LAeq, LAmax, LAE, etc... où le 'A' indique l'utilisation de la pondération 'A'.

5.2 Le niveau sonore maximal - LA_{max}

LA_{max} est la valeur maximale pondérée 'A' du niveau de pression sonore atteint pendant une mesure, exprimé en dB(A). Au cours du passage d'un avion, le niveau de bruit commence avec le bruit de fond, augmente jusqu'au niveau maximal lorsqu'il se rapproche de l'observateur ou du récepteur puis diminue pour revenir au niveau du bruit de fond lorsque l'avion s'éloigne.

Le bruit de fond inclut toutes les sources de bruit excepté la source évaluée. Il peut varier de chants d'oiseaux au bruit du passage d'une voiture. Pour évaluer le bruit de l'avion indépendamment du bruit ambiant, un seuil doit être défini. Les événements des passages des avions sont corrélés avec les données de trafic pour être validés et des traitements supplémentaires peuvent aussi être appliqués pour isoler le bruit de l'avion du mieux possible.

L'indicateur $L_{A_{max}}$ décrit seulement une dimension (l'intensité sonore maximale) mais ne donne pas d'information sur l'exposition au bruit cumulée (l'énergie sonore d'un événement). Deux événements avec le même niveau maximal peuvent produire deux expositions totales différentes. Par exemple, le premier événement peut être lié au passage d'un avion lourd et durer assez longtemps, il sera perçu comme beaucoup plus gênant que le deuxième événement avec un avion plus léger et sur une période plus courte.

On peut mesurer des événements sonores avec les périodes/fréquences de mesure Fast ou Slow. C'est pourquoi on peut voir parfois les indicateurs $L_{AF_{max}}$ ou $L_{AS_{max}}$. Fast correspond à une période de 125 ms tandis que Slow correspond à une période d'1 s.

Cet indicateur est intéressant s'il est utilisé pour compter le nombre de dépassement d'une certaine valeur. Dans la modélisation des contours de bruit pour l'année 2019, nous avons utilisé les métriques **N60** et **N70**, qui représentent des niveaux (des comptes) où la valeur 60 ou 70 dB(A) a été dépassée x fois.

Ces métriques s'écrivent de manière complète NANL 60 dB(A) (Number Above Noise Level 60 dB(A)) mais peuvent s'abréger et s'écrire NA60 ou N60. On peut aussi les appeler contours de fréquence d'évènements.

5.3 Le niveau d'exposition sonore - SEL

Le **Sound Exposure Level (SEL)** est un indicateur qui reflète l'énergie sonore totale produite pendant un événement, à partir du temps où le niveau de bruit dépasse un certain seuil jusqu'à ce qu'il retombe en-dessous de ce seuil. Le SEL présente cette énergie sonore comme si elle était délivrée en une seconde.

Cet indicateur permet de comparer des événements de bruit d'avion individuels avec des durées très différentes puisque le SEL normalise la durée dans chaque cas à une seconde, mais il ne mesure pas l'intensité instantanée même s'il est exprimé en dB(A). Le SEL est fréquemment utilisé pour compléter l'indicateur $L_{A_{max}}$ afin de comparer des événements de passage d'avions (ce qui est fait au début de la partie suivante 6.1).

Voici la formule pour calculer le SEL, qui peut aussi s'écrire L_{AE} :

$$L_{AE} = 10 \log \left(\frac{1}{T_0} \sum_{i=1}^N 10^{L_{A,i}/10} \Delta t \right)$$

Équation 1 : Formule du Niveau d'exposition sonore (SEL)

Où L_{AE} = le Sound Exposure Level

T_0 = 1s pour avoir un logarithme sans dimensions

$L_{A,i}$ = les niveaux sonores pondérés 'A' mesurés à chaque intervalle Δt

Δt = l'intervalle de temps entre les mesures

Par exemple, l'échantillon de niveaux sonores pondérés 'A' suivant, mesuré à des intervalles de 0,5 secondes pendant le passage d'un avion, permet de calculer le SEL de cet évènement : 64.5, 66.7, 67.1, 69.2, 71.3, 73.2, 74.1, 75.6, 77.8, 79.1, 78.6, 77.2, 75.7, 74.5, 72.6, 71.1, 69.7, 68.6, 68.0, et 66.4 dB(A).

$$L_{AE} = 10 \log \left[\frac{1}{1} (10^{64.5/10} + 10^{66.7/10} + \dots + 10^{66.4/10}) 0.5 \right]$$

$$= 10 \log(253,734,091) = 84.0 \text{ dB}$$

Équation 2 : Exemple de calcul d'un SEL à partir des niveaux sonores

Etant donné que le SEL est normalisé à une seconde, sa valeur sera toujours plus grande que le LA_{max} pour un évènement qui dure plus longtemps qu'une seconde. Dans l'exemple, le SEL est de 84.0 dB(A) alors que le LA_{max} est de 79,1dB(A).

Les facteurs qui causent cette différence sont la vitesse de l'avion (plus la vitesse est grande, plus la différence est petite) et la distance à l'avion au point le plus proche de l'observateur/du récepteur (plus la distance est grande, plus la différence est grande).

Un autre exemple visuel est montré ci-dessous :

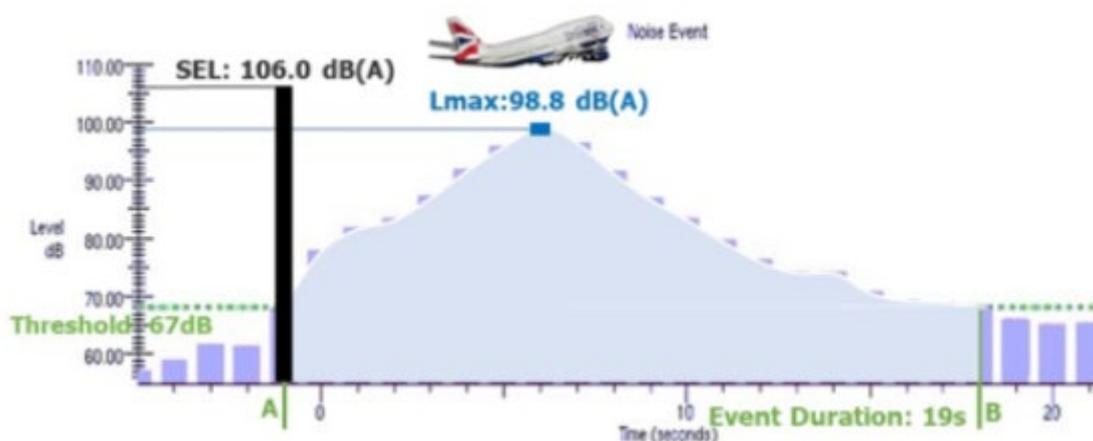


Figure 44 : Représentation visuelle du SEL

Source : [LAmx, SEL and Leq for aviation noise \(anima-project.eu\)](http://anima-project.eu)

5.4 Le niveau sonore équivalent - LA_{eq}

L'**Equivalent Sound Level (LA_{eq})** représente le niveau de pression sonore qui serait produit par un niveau sonore constant, avec la même énergie sonore qu'un ou plusieurs bruits d'avion variables, pendant la même durée.

Cet indicateur n'est pas une moyenne arithmétique des intensités sonores, mais une quantité d'énergie sonore, qui peut être mesurée sur plusieurs périodes (1 heure, 24 heures, 1 année, ...) exprimée en dB(A). Il reflète le nombre d'évènements et la quantité d'énergie sonore de chaque évènement.

La formule pour calculer le niveau sonore équivalent à partir des SEL est la suivante :

$$L_{eq} = 10 \log \left(\frac{1}{T} \sum_{j=1}^M 10^{L_{AE,j}/10} \right)$$

Équation 3 : Formule du niveau sonore équivalent L_{Aeq}

Où $L_{AE,j}$ = le SEL de chaque avion dans la période prise en compte

T = la période, exprimée en secondes

Par exemple, les SEL pour 4 avions ont été mesurés pendant une période d'1 heure : 84.0, 89.1, 90.2, et 86,6 db(A). Le niveau sonore équivalent LA_{eq_1h} est alors :

$$L_{eq} = 10 \log \left[\frac{1}{3600} (10^{84.0/10} + 10^{89.1/10} + 10^{90.2/10} + 10^{86.6/10}) \right]$$

$$= 10 \log 713.339 = 58.5 \text{ dB}$$

Équation 4 : Exemple de calcul du Leq à partir des valeurs des SEL

L'énergie acoustique d'une minute n'est pas comparable à celle d'une heure ou autre. Pour cette raison, il est important de préciser la durée dans le nom de la valeur : LA_{eq_1h} , LA_{eq_24h} , LA_{eq_night} , ...

Souvent le niveau sonore équivalent L_{Aeq} est mal interprété ou vu comme une sous-estimation de l'environnement sonore. L'inquiétude est que la métrique ne rapporte pas l'énergie totale de bruit au cours d'une période. Cette métrique inclut pourtant toute l'énergie sonore pendant la période regardée. Chaque évènement, quel que soit son niveau sonore, accroît la valeur de la métrique. Voici un exemple visuel avec d'autres valeurs :

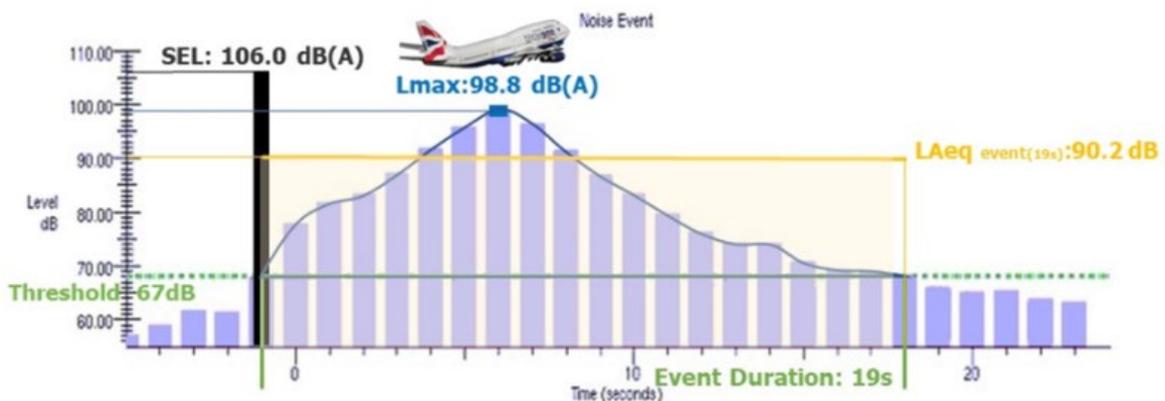


Figure 45 : Représentation visuelle de l'indicateur LA_{eq}

Source : [LAmx, SEL and Leq for aviation noise \(anima-project.eu\)](http://anima-project.eu)

5.5 Les indicateurs cumulatifs L_{day} , $L_{evening}$, L_{night} et L_{den}

La Directive environnementale sur le bruit 2002/49/EC a établi les métriques L_{den} et L_{night} pour la préparation et la production des contours de bruit (ces métriques sont aussi appelées « Indicateurs stratégiques »). Elle définit :

- L_{day} (métrique de bruit le jour) qui représente la gêne accumulée pendant la période de jour. C'est la quantité d'énergie sonore pondérée 'A' ramenée à l'année, donc déterminée par toutes les périodes de jour d'une année.
- $L_{evening}$ est une métrique du même type que L_{day} mais pour la période du soir.
- L_{night} est une métrique du même type que L_{day} mais pour la période de nuit.

Ainsi, L_{day} , $L_{evening}$ et L_{night} sont des indicateurs LA_{eq} déterminés sur les périodes mentionnées. L'équation (2) peut être utilisée pour les calculer en adaptant correctement les durées. La période de jour dure 12 heures, le soir - 4 heures et la nuit - 8 heures. Les heures de début du jour, du soir et de la nuit peuvent être choisis par chaque pays. Dans la région de Bruxelles-Capitale, pour la prise en compte du bruit du trafic aérien, le jour commence à 7h00, le soir à 19h00 et la nuit à 23h00.

La valeur annuelle L_{day_annuel} peut être calculée avec la formule :

$$L_{day_annuel} = 10 \log \left(\frac{1}{365} \sum_{i=1}^{365} 10^{L_{day,i}/10} \right)$$

Équation 5 : Formule pour la métrique annuelle L_{day_annuel}

Où $L_{day,i}$ = les valeurs L_{day} pour chaque jour de l'année

Les valeurs annuelles $L_{evening_annuel}$ et L_{night_annuel} peuvent être calculées de la même manière.

Enfin, la métrique L_{den} est utilisée pour représenter l'exposition au bruit d'une personne cumulée sur 24 heures, déterminée sur tous les jours d'une année. La métrique L_{den} fournit un mécanisme pour décrire les effets du bruit d'une façon simple. L_{den} est similaire à LA_{eq} mais elle diffère dans la façon dont le bruit est traité le soir et la nuit. L_{den} est calculé en utilisant L_{day_annuel} , $L_{evening_annuel}$ et L_{night_annuel} . Cependant, pour prendre en compte la gêne liée au bruit pendant la période de sommeil et du soir, une pénalité de 5 dB est ajoutée pour la période de soir et une pénalité de 10 dB est ajoutée pour la période de nuit.

$$L_{den} = 10 \log \left[\frac{1}{24} \left(12 \cdot 10^{\frac{L_d}{10}} + 4 \cdot 10^{\frac{L_e+5}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_n+10}{10}} \right) \right]$$

Équation 6 : Formule pour la métrique L_{den}

Le graphique ci-dessous représente les pénalités de manière visuelle. Les barres orange représentent le LA_{eq} par heure pour un aéroport quelconque. Elles sont utilisées pour la période de jour. Les barres bleues représentent la pénalité qui a été ajoutée dans la formule pour la période de nuit (pour prendre en compte la gêne induite par le bruit pendant le sommeil). Les barres vertes représentent la pénalité ajoutée dans la formule pour la période du soir (pour prendre en compte le dérangement causé par le bruit pendant le repos).

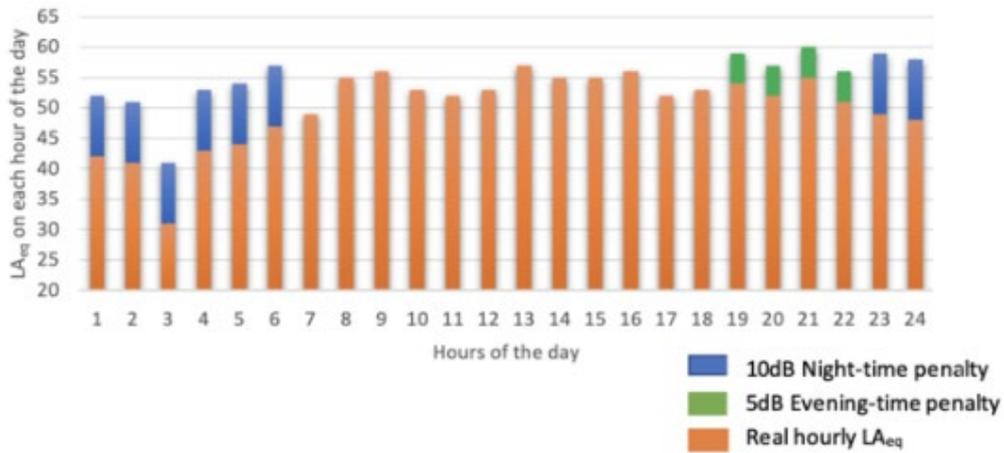


Figure 46 : Représentation visuelle des pénalités pour la métrique Lden

Source : [European indicators \(anima-project.eu\)](http://European indicators (anima-project.eu))

Il est important de noter qu’il est difficile de relier la gêne due au bruit à des métriques objectives. En effet la perception humaine ne fonctionne pas de la même manière qu’un sonomètre calibré – c’est pourquoi il a été décidé d’ajouter des pénalités pour les périodes de soir et de jour.

D’autres aéroports (aux Etats-Unis surtout) utilisent une version différente de Lden, qui s’appelle DNL ou Ldn. La seule différence est que cet indicateur n’a pas de pénalité pour la période du soir, elle a juste la même pénalité de 10 dB pour la période de nuit.

$$Ldn = 10 \log \left[\frac{1}{24} \left(12 \cdot 10^{\frac{Ld}{10}} + 4 \cdot 10^{\frac{Le+0}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{Ln+10}{10}} \right) \right]$$

Équation 7 : Formule de l’indicateur Ldn - différent de Lden

Un autre indicateur standard est L24, qui est aussi un indicateur de 24 heures sur toute l’année, cependant il n’y a aucune pénalité.

$$L24 = 10 \log \left[\frac{1}{24} \left(12 \cdot 10^{\frac{Ld}{10}} + 4 \cdot 10^{\frac{Le+0}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{Ln+0}{10}} \right) \right]$$

Équation 8 : Formule de l’indicateur L24 - différent de Lden

Parfois les lecteurs peuvent être confus par toutes ces métriques lorsqu’ils cherchent des informations sur le web. Cela peut mener à des comparaisons qui ne sont pas appropriées entre des valeurs d’indicateurs différents.

Population fortement gênée et population soumise à des perturbations du sommeil

La directive EU 2020/367 du 4 mars 2020⁶ définit les risques relatifs et absolus d'exposition à plusieurs sources de bruit.

La relation dose-effet pour calculer le pourcentage de la population subissant une forte gêne (High Annoyance, **HA**) due au bruit du trafic aérien, pour un certain niveau L_{den} , est la suivante :

$$AR_{HA,air} = \frac{(-50.9693 + 1.0168 * L_{den} + 0.0072 * L_{den}^2)}{100}$$

Équation 9 : Formule pour calculer le pourcentage de la population subissant une forte gêne (HA)

La relation dose-effet pour calculer le pourcentage de la population subissant une forte perturbation du sommeil (High sleep disturbance, **HSD**) due au bruit du trafic aérien, pour un certain niveau L_{night} , est la suivante :

$$AR_{HSD,air} = \frac{(16.7885 - 0.9293 * L_{night} + 0.0198 * L_{night}^2)}{100}$$

Équation 10 : Formule pour calculer le pourcentage de la population subissant une forte perturbation du sommeil (HSD)

En conclusion, il est important pour le public de connaître les différences entre les indicateurs. Il est essentiel d'utiliser les indicateurs appropriés et d'éviter les comparaisons entre des indicateurs qui ne sont pas les mêmes.

⁶<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020L0367&qid=1651314716842&from=FR>

6 Comparaison entre les valeurs de bruit mesurées et les valeurs quantifiées

6.1 Comparaison des valeurs mesurées par un même sonomètre pour des vols avec les mêmes caractéristiques – 2019

Avant de présenter la comparaison des valeurs mesurées avec les valeurs modélisées, nous avons voulu montrer que pour un même sonomètre qui mesure le bruit lié au même type de vol (avec les mêmes caractéristiques), les mesures peuvent varier d'un certain nombre de décibels.

Cette première partie porte uniquement sur les mesures des sonomètres. Nous avons voulu comparer, pour un sonomètre qui mesure plusieurs fois le même type de vol (avec la même trajectoire, la même compagnie aérienne, le même modèle d'avion, le même profil, la même procédure, le même stage length), les valeurs mesurées pour ce même sonomètre. Nous avons pu faire ce type de comparaison seulement pour l'année 2019 et pour les sonomètres de l'aéroport (car l'indicatif de vol qu'utilise Bruxelles-Environnement pour relier les mesures aux vols n'est pas dans les données de vol de l'aéroport).

Le stage length est utilisé dans la modélisation du bruit comme approximation du poids d'un aéronef selon la longueur de son vol. A partir des informations sur les villes couplées (aéroports de départ et d'arrivée), la distance du trajet peut être calculée. Sur la base de ce trajet ou de la longueur de l'étape, la masse modélisée de l'avion sera attribuée. Plus le stage length est élevé, plus les distances parcourues sont grandes. Plus la distance est grande, plus le poids de l'avion est élevé, surtout à cause du carburant supplémentaire. D'un point de vue intuitif, plus le poids augmente, plus la contribution des turbines de l'avion pour générer de la poussée, de la vitesse et par conséquent de la portance est forte, ce qui augmente le niveau de bruit.

6.1.1 Exemples pour deux vols avec les mêmes caractéristiques

6.1.1.1 Exemple n°1

Dans ce premier exemple, nous avons regardé la différence entre les valeurs mesurées pour 2 vols au départ de la piste 25R, vers Lisbonne avec les caractéristiques suivantes :

Variation des valeurs pour un même départ	
Track_ID : 203265499	Track_ID: 203266259
A320-Neo	A320-Neo
Départ piste 25R	Départ piste 25R
LPPT Lisbonne	LPPT Lisbonne
2019-07-17 06:43:00	2019-07-18 06:44:00
Stage_length: 2	Stage_length: 2
Flight procedure : CIV4C	Flight procedure : CIV4C
Route du Ring	Route du Ring

Tableau 7 : Comparaison de 2 vols similaires au départ de la piste 25R

Pour les récepteurs 10-03_Neder-Over-Heembeek et 21-01_Stroombeek-Bever, qui sont représentés avec les trajectoires des deux vols sur la carte ci-dessous :



Figure 47 : Comparaison des traces de 2 vols similaires au départ de la piste 25R

Voici les valeurs mesurées par ces deux récepteurs, pour ces deux vols identiques :

Track_ID	Récepteur	TLASmax	Tstart	TTotal (s)	LASmax	SEL	Leq	
203265499	10-03_Neder-Over-Heembeek	17/07/2019 06:45:23	06:45:08	00:00:00	67.8	79.6	65	SEL in AEDT: 79.8
203266259	10-03_Neder-Over-Heembeek	18/07/2019 06:45:46	06:45:34	00:00:00	66.2	77.8	63.7	SEL in AEDT: 79.6
203265499	21-01_Stroombeek-Bever	17/07/2019 06:45:52	06:45:37	00:00:00	67.1	77.9	63.4	SEL in AEDT: 76.4
203266259	21-01_Stroombeek-Bever	18/07/2019 06:46:18	06:46:01	00:00:00	62.5	74.9	60.9	SEL in AEDT: 76.5

Tableau 8 : Comparaison des valeurs mesurées pour les 2 vols similaires au départ de la piste 25R

Nous pouvons voir que pour le récepteur 10-03, il y a une différence de 1,8 dB entre les SEL (Sound Exposure Levels). Pour le récepteur 21-01, cette différence est de 3,0 dB. Les SEL sont utilisés pour calculer les métriques

de moyenne de bruit tel que *Lden*, qui sont présentées dans la partie suivante. On remarque aussi une différence de 4,6 dB pour la valeur maximale mesurée (LASmax). Nous avons ajouté, a posteriori sur la droite du tableau, les valeurs des SEL modélisées indépendamment avec le logiciel AEDT.

6.1.1.2 Exemple n°2

Ce deuxième exemple prend en compte deux approches sur la piste 25L avec les caractéristiques suivantes :

Variation des valeurs pour une même arrivée	
Track_ID : 203145798	Track_ID: 203145807
A320-211	A320-211
De EDDT Berlin-Tegel	De EDDF Francfort
Arrivée piste 25L	Arrivée piste 25L
16/01/2019 08:03:00	16/01/2019 08:13:00

Tableau 9 : Comparaison de 2 vols similaires arrivant sur la piste 25L

Les récepteurs 16-02_Vellem et 02-02_Kortenberg sont représentés ci-dessous, avec les deux approches pour lesquelles les trajectoires se superposent :

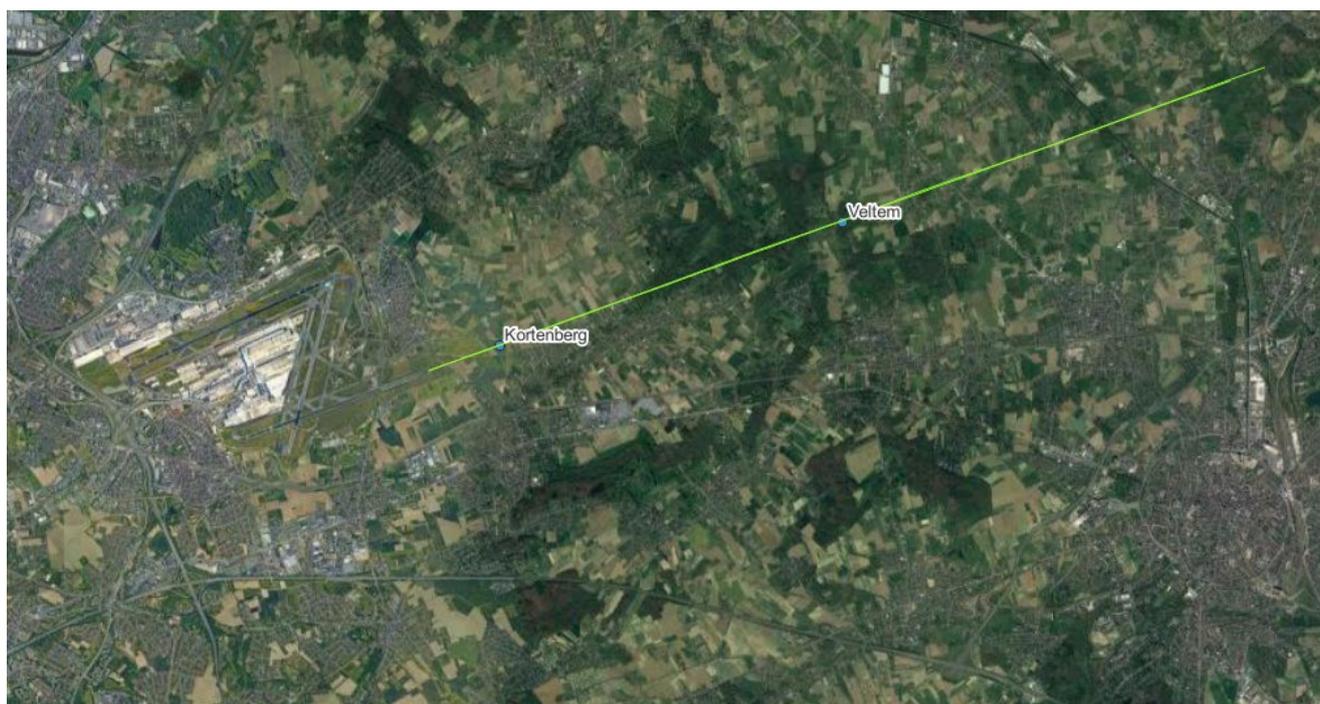


Figure 48 : Comparaison des traces de 2 vols similaires arrivant sur la piste 25L

Voici les valeurs mesurées par ces deux récepteurs, pour ces deux vols identiques :

Track_ID	Récepteur	TLASmax	Tstart	TTotal (s)	LASmax	SEL	Leq	
203145798	16-02_Velte	16/01/2019	08:01:02	31	70.4	81.3	66.4	SEL in AEDT: 84.1
203145807	16-02_Velte	16/01/2019	08:11:25	37	75.1	85.4	69.7	SEL in AEDT: 84.1
203145798	02-02_Korte	16/01/2019	08:02:27	35	89.2	94.6	79.2	SEL in AEDT: 96
203145807	02-02_Korte	16/01/2019	08:12:51	34	88.9	95	79.7	SEL in AEDT: 96

Tableau 10 : Comparaison des valeurs mesurées pour les 2 vols similaires arrivant sur la piste 25L

Pour le récepteur 16-02, il y a une différence de presque 4 dB entre les SEL mesurés, pour le récepteur 02-02, cette différence est de 0,4 dB. Par ailleurs, les SEL modélisées indépendamment avec AEDT sont identiques.

6.1.2 Exemples pour plusieurs vols avec les mêmes caractéristiques sur le même mois

6.1.2.1 Exemple n°1

Nous avons cette fois comparé les valeurs mesurées pour tous les vols ayant les mêmes caractéristiques au cours du même mois, pour avoir des conditions météorologiques similaires, ici pour juillet 2019 :

Variation des valeurs pour une même arrivée sur un mois	
A320-Neo	
Départ piste 25R	
LPPT Lisbonne	
Juillet 2019	
Stage_length: 2	
Flight procedure : CIV4C	
Route du Ring	

Tableau 11 : Comparaison de plusieurs vols similaires au départ de la piste 25R

Voici les valeurs pour les récepteurs 10-03_Neder-Over-Heembeek et 21-01_Stroombeek-Bever:

	Track_ID	Récepteur	TLASmax	Tstart	TTotal (s)	LASmax	SEL	Leq
	203281443	10-03_Neder-Over-Heembeek	07/08/2019 21:13:03	21:12:49	28	66.7	78	63.5
	203265499	10-03_Neder-Over-Heembeek	17/07/2019 06:45:23	06:45:08	29	67.8	79.6	65
	203266259	10-03_Neder-Over-Heembeek	18/07/2019 06:45:46	06:45:34	26	66.2	77.8	63.7
	203266645	10-03_Neder-Over-Heembeek	18/07/2019 15:53:28	15:53:10	29	66.1	78.6	64
	203267046	10-03_Neder-Over-Heembeek	19/07/2019 06:38:34	06:38:21	29	67	79.4	64.8
	203271872	10-03_Neder-Over-Heembeek	25/07/2019 16:06:14	16:06:04	17	65.3	75.2	62.9
	203275911	10-03_Neder-Over-Heembeek	31/07/2019 06:40:42	06:40:32	30	64.8	77.6	62.8
min						64.8	75.2	62.8
max						67.8	79.6	65
	Track_ID	Récepteur	TLASmax	Tstart	TTotal (s)	LASmax	SEL	Leq
	203281443	21-01_Stroombeek-Bever	07/08/2019 21:13:33	21:13:25	17	63.7	73.9	61.6
	203265499	21-01_Stroombeek-Bever	17/07/2019 06:45:52	06:45:37	28	67.1	77.9	63.4
	203266259	21-01_Stroombeek-Bever	18/07/2019 06:46:18	06:46:01	25	62.5	74.9	60.9
	203266645	21-01_Stroombeek-Bever	18/07/2019 15:53:53	15:53:43	25	65.1	76.1	62.1
	203267046	21-01_Stroombeek-Bever	19/07/2019 06:39:07	06:38:52	26	64.2	75.5	61.4
	203275911	21-01_Stroombeek-Bever	31/07/2019 06:41:16	06:41:08	20	64	73.8	60.8
min						62.5	73.8	60.8
max						67.1	77.9	63.4

Tableau 12 : Comparaison des valeurs mesurées pour plusieurs vols similaires au départ de la 25R

Pour les deux récepteurs, on obtient pour les SEL une différence entre la valeur maximum et la valeur minimum de plus de 4 dB, pour le mois de juillet.

6.1.2.2 Exemple n°2

Dans cet exemple, nous avons sélectionné les approches depuis Berlin-Tegel (EDDT) au cours du mois de janvier 2019, avec les caractéristiques suivantes :

Variation des valeurs pour une même arrivée sur un mois			
A320-211			
De EDDT Berlin-Tegel			
Arrivée piste 25L			
En janvier 2019			
Stage length: 1			

Tableau 13 : Comparaison de plusieurs vols similaires arrivant sur la piste 25L

Voici les valeurs pour le récepteur 16-02_Veltem :

	Track_ID	Récepteur	TLASmax	Tstart	TTotal (s)	LASmax	SEL	Leq
	203137544	16-02_Veltem	01/01/2019 07:57:02	07:56:50	31	72.5	82.3	67.4
	203155618	16-02_Veltem	01/02/2019 19:48:08	19:47:49	34	72.5	82.7	67.4
	203171528	16-02_Veltem	01/03/2019 13:03:58	13:03:37	34	72.5	82.9	67.6
	203144771	16-02_Veltem	14/01/2019 13:19:17	13:19:03	38	74.2	84.7	68.9
	203145033	16-02_Veltem	14/01/2019 20:44:36	20:44:26	27	74.3	84.8	70.5
	203145376	16-02_Veltem	15/01/2019 12:49:53	12:49:33	44	75.1	85	68.6
	203145602	16-02_Veltem	15/01/2019 19:53:21	19:53:01	41	71.6	82	65.9
	203145798	16-02_Veltem	16/01/2019 08:01:14	08:01:02	31	70.4	81.3	66.4
	203146020	16-02_Veltem	16/01/2019 13:06:36	13:06:21	31	71.3	81.1	66.2
	203146446	16-02_Veltem	17/01/2019 08:13:10	08:12:53	42	71.8	83.5	67.3
	203146648	16-02_Veltem	17/01/2019 12:56:02	12:55:53	27	73.2	82.4	68.1
	203146859	16-02_Veltem	17/01/2019 19:41:39	19:41:22	40	73.7	83.9	67.9
	203147064	16-02_Veltem	18/01/2019 08:36:13	08:35:58	30	72.1	82.4	67.6
	203147526	16-02_Veltem	18/01/2019 20:24:20	20:24:06	30	72.7	83.1	68.3
	203147696	16-02_Veltem	19/01/2019 07:58:05	07:57:46	34	71.1	81.9	66.6
	203148586	16-02_Veltem	21/01/2019 08:07:41	08:07:31	23	70.9	80.5	66.9
	203149069	16-02_Veltem	21/01/2019 19:40:59	19:40:51	22	71.5	80.6	67.2
	203149362	16-02_Veltem	22/01/2019 10:16:55	10:16:46	26	72.8	82.8	68.7
	203149690	16-02_Veltem	22/01/2019 20:37:49	20:37:37	33	72.6	82.7	67.5
	203149771	16-02_Veltem	22/01/2019 21:47:50	21:47:32	31	72.5	82.4	67.5
	203150114	16-02_Veltem	23/01/2019 13:17:53	13:17:43	24	73.3	82.3	68.5
	203150528	16-02_Veltem	24/01/2019 08:06:20	08:06:06	32	74.8	84.5	69.4
	203151165	16-02_Veltem	25/01/2019 09:10:46	09:10:36	28	74.6	83.6	69.1
	203151621	16-02_Veltem	25/01/2019 19:49:50	19:49:35	33	77	85.5	70.3
	203152675	16-02_Veltem	28/01/2019 08:06:22	08:06:01	42	73.8	84.8	68.6
	203153123	16-02_Veltem	28/01/2019 19:52:37	19:52:17	39	74.1	84.4	68.5
	203153327	16-02_Veltem	29/01/2019 08:20:40	08:20:28	29	72.7	83	68.4
	203153752	16-02_Veltem	29/01/2019 19:34:36	19:34:20	32	77.8	84.6	69.5
	203153959	16-02_Veltem	30/01/2019 08:25:23	08:25:06	30	73.4	83.1	68.3
	203154184	16-02_Veltem	30/01/2019 14:43:44	14:43:28	39	73	83.1	67.2
	203154543	16-02_Veltem	31/01/2019 08:07:33	08:07:26	28	72	82	67.5
min						70.4	80.5	65.9
max						77.8	85.5	70.5

Tableau 14 : Comparaison de plusieurs vols similaires arrivant sur la piste 25L, récepteur n°1

Pour ce récepteur il y a une différence de 5 dB entre la valeur minimum et la valeur maximum des SEL, pour le mois de janvier.

Voici les valeurs pour le récepteur 02-02_Kortenbergl :

	Track_ID	Récepteur	TLASmax	Tstart	TTotal (s)	LASmax	SEL	Leq
	203137544	02-02_Kortenbergl	01/01/2019 07:58:32	07:58:12	33	89.6	95.7	80.5
	203155618	02-02_Kortenbergl	01/02/2019 19:49:25	19:49:13	25	89.1	93.9	79.9
	203171528	02-02_Kortenbergl	01/03/2019 13:05:19	13:05:03	29	87.6	93.2	78.6
	203144771	02-02_Kortenbergl	14/01/2019 13:20:43	13:20:27	44	87	93.3	76.9
	203145033	02-02_Kortenbergl	14/01/2019 20:46:01	20:45:41	35	88.8	94.4	79
	203145376	02-02_Kortenbergl	15/01/2019 12:51:23	12:51:09	28	88.6	94.4	79.9
	203145602	02-02_Kortenbergl	15/01/2019 19:54:47	19:54:29	34	89.7	95.2	79.9
	203145798	02-02_Kortenbergl	16/01/2019 08:02:49	08:02:27	35	89.2	94.6	79.2
	203146020	02-02_Kortenbergl	16/01/2019 13:08:02	13:07:43	31	88.6	94.2	79.3
	203146446	02-02_Kortenbergl	17/01/2019 08:14:43	08:14:23	35	89.4	95.3	79.9
	203146648	02-02_Kortenbergl	17/01/2019 12:57:32	12:57:13	34	90.4	95.1	79.8
	203146859	02-02_Kortenbergl	17/01/2019 19:43:08	19:42:50	39	89.9	95.3	79.4
	203147064	02-02_Kortenbergl	18/01/2019 08:37:36	08:37:14	37	88.3	94	78.3
	203147526	02-02_Kortenbergl	18/01/2019 20:25:40	20:25:26	30	89.8	95.1	80.3
	203147696	02-02_Kortenbergl	19/01/2019 07:59:34	07:59:23	24	87.1	92.9	79.1
	203148586	02-02_Kortenbergl	21/01/2019 08:08:58	08:08:45	31	88.5	93.6	78.7
	203149069	02-02_Kortenbergl	21/01/2019 19:42:24	19:42:10	28	88.6	93.9	79.4
	203149362	02-02_Kortenbergl	22/01/2019 10:18:27	10:18:16	24	88.4	93.7	79.9
	203149690	02-02_Kortenbergl	22/01/2019 20:39:19	20:38:56	39	90.1	95.4	79.5
	203149771	02-02_Kortenbergl	22/01/2019 21:49:22	21:49:07	30	88.5	94.4	79.6
	203150114	02-02_Kortenbergl	23/01/2019 13:19:06	13:18:54	25	87.8	92.6	78.6
	203150528	02-02_Kortenbergl	24/01/2019 08:07:40	08:07:25	29	87.8	93.2	78.6
	203151165	02-02_Kortenbergl	25/01/2019 09:12:10	09:11:51	34	87.7	93	77.7
	203151621	02-02_Kortenbergl	25/01/2019 19:51:20	19:51:05	39	88.9	95	79.1
	203152675	02-02_Kortenbergl	28/01/2019 08:07:50	08:07:29	35	90.2	95.9	80.5
	203153123	02-02_Kortenbergl	28/01/2019 19:54:05	19:53:49	29	90.1	95.6	81
	203153327	02-02_Kortenbergl	29/01/2019 08:22:11	08:21:52	33	89	94.8	79.6
	203153752	02-02_Kortenbergl	29/01/2019 19:35:53	19:35:43	23	88.4	94.1	80.5
	203153959	02-02_Kortenbergl	30/01/2019 08:26:40	08:26:26	29	88.1	93.4	78.8
	203154184	02-02_Kortenbergl	30/01/2019 14:45:14	14:45:00	31	89	94.4	79.5
	203154543	02-02_Kortenbergl	31/01/2019 08:08:59	08:08:42	33	89.1	94.3	79.1
min						87	92.6	76.9
max						90.4	95.9	81

Tableau 15 : Comparaison de plusieurs vols similaires arrivant sur la piste 25L, récepteur n°2

Ici on observe une différence maximale de 4,3 dB entre les SEL.

En conclusion, les valeurs mesurées avec un même sonomètre, pour des vols avec des caractéristiques identiques, ne sont pas identiques. En effet pour les SEL (Sound Exposure Levels), il y a une différence qui peut aller jusqu'à 5 dB au cours du même mois. Les SEL servent à calculer les valeurs moyennes d'exposition au bruit telles que Lday, Levening, Lnight, Lden... C'est une des raisons pour lesquelles, dans la partie suivante où l'on compare les valeurs mesurées et les valeurs quantifiées pour ces métriques, il existe parfois des différences.

6.2 Comparaison entre mesures et quantifications - 2019

Nous avons effectué deux types de comparaison entre les valeurs mesurées (ou « calculées », qui proviennent des mesures des sonomètres) et les valeurs quantifiées (ou « modélisées », générées à partir d'un logiciel).

La première comparaison porte sur les indicateurs cumulatifs Lday, Levening, Lnight et Lden, qui sont calculés à partir des SEL et qui sont généralement des valeurs annuelles. Ce sont ces métriques qui en modélisation sont utilisées pour la production des contours de bruits. Ces indicateurs sont des indices de quantifications, et non des mesures. La production de contours de bruit via l'indicateur Lden par exemple consiste ainsi à définir une aire pour une valeur en dB. Cette valeur elle-même n'a pas vocation à représenter la sensation de bruit à un instant donné. Elle doit être vue comme un indice permettant d'estimer un niveau de bruit sur l'année. Cependant ces métriques peuvent être calculées à partir des valeurs mesurées, afin d'être comparées aux valeurs obtenues avec la modélisation. La comparaison a été faite sur l'ensemble de l'année 2019.

La deuxième comparaison que nous avons choisi d'effectuer prend en compte le niveau maximal d'intensité sonore, qui correspond à la métrique Lmax. Comparer les valeurs mesurées et quantifiées pour cette métrique est moins conventionnel, mais nous avons voulu faire une comparaison la plus complète possible, en utilisant toutes les données à notre disposition. Pour cette métrique la comparaison a été faite sur deux jours dans l'année (le 1^{er} janvier 2019 et le 1^{er} juillet 2019), ce que nous avons jugé plus sensé car quantifier une valeur maximale sur l'année n'est pas approprié. Nous comparons aussi pour ces deux dates, ainsi que pour l'année 2019 entière, le nombre moyen d'évènements qui ont dépassé 60, 65, ou 70 dB par jour, ce qui correspond aux métriques N60, N65 et N70.

Les pics de bruit ne sont pas représentables dans une cartographie représentant le bruit sur une année. Ce qui est faisable est de montrer les valeurs maximales sur un jour et une période de ce jour, ou de compter le nombre de fois qu'un évènement a dépassé une certaine valeur (70 dB par exemple, sur un jour ou sur une année en moyenne par jour). C'est ce qui est montré dans cette partie. De plus, pour cette dernière métrique, les cartographies ont été réalisées pour l'année 2019, à la [section 7.1](#).

6.2.1 Comparaison des valeurs pour les métriques L_{day} , $L_{evening}$, L_{night} et L_{den}

La capture d'écran ci-dessous montre la localisation des récepteurs de Bruxelles-Environnement (points verts) et des récepteurs de l'aéroport (points bleus) pour lesquels nous avons des données de mesures disponibles et pour lesquels nous avons pu faire une comparaison.

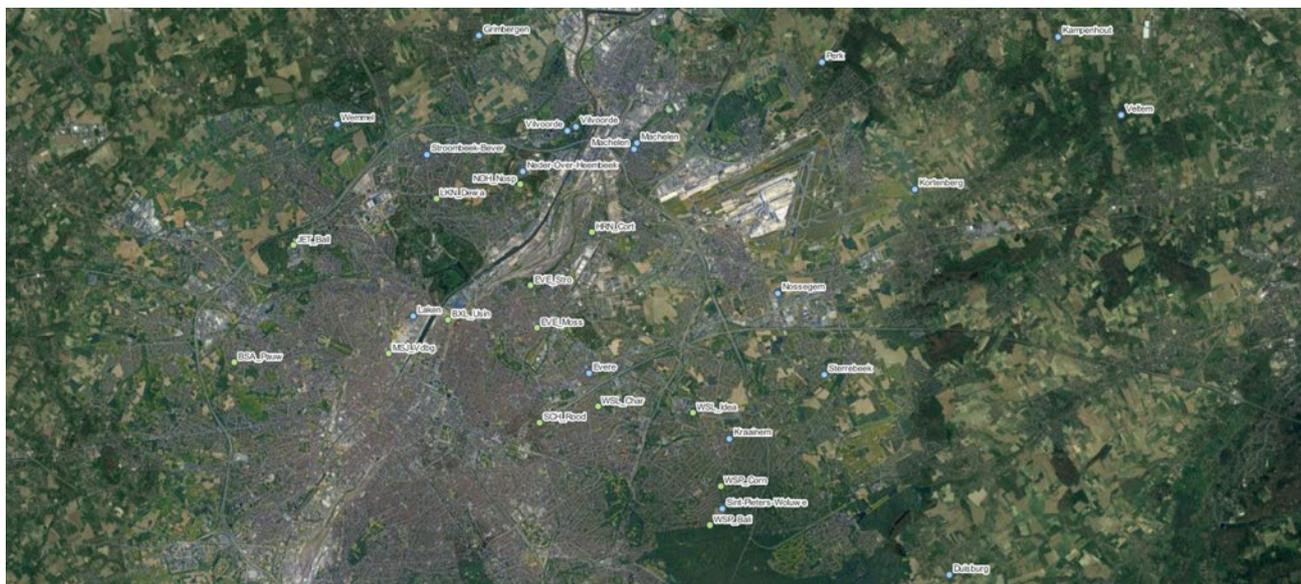


Figure 49 : Carte des sonomètres de l'aéroport et de Bruxelles-Environnement

A partir des données des sonomètres fournies par l'aéroport de Bruxelles, nous avons calculées les valeurs L_{day} , $L_{evening}$, L_{night} et L_{den} sur l'année 2019, pour les récepteurs de l'aéroport, sur la base des formules officielles. Les valeurs journalières ont d'abord été calculées à partir des SEL (Sound Exposure Level) figurant dans les données, puis nous avons calculés les valeurs annuelles qui sont présentées ci-dessous.

Concernant les sonomètres de Bruxelles-Environnement, les valeurs pour L_{day} , $L_{evening}$, L_{night} et L_{den} ont déjà été calculées (par Bruxelles-Environnement) et nous ont été communiquées. Nous leur avons aussi demandé d'expliquer leur méthode de calcul pour ces métriques, ce qu'ils ont fait en nous expliquant leurs formules, que nous avons vérifiées et qui sont correctes.

Nous avons donc comparé les valeurs mesurées (calculées) et les valeurs quantifiées (modélisées) dans un tableau, pour les indicateurs L_{day} , $L_{evening}$, L_{night} et L_{den} . Les valeurs sont données en dB(A).

Récepteur aéroport	L_day_2019		L_evening_2019		L_night_2019		L_den_2019	
	Calculé	Quantifié (AEDT)	Calculé	Quantifié(AEDT)	Calculé	Quantifié (AEDT)	Calculé	Quantifié (AEDT)
02-02_Kortenber	69.0	70.0	68.6	69.9	63.5	64.2	71.8	72.7
04-01_Nossegem	60.7	61.8	62.2	63.4	59.4	59.4	66.4	66.8
06-01_Evere	53.3	52.6	53.6	52.8	46.0	45.3	55.5	54.8
07-02_Sterrebeek	47.2	48.3	46.5	47.9	50.6	49.5	56.4	55.6
08-01_Kampenhout	55.6	55.6	56.1	56.3	53.1	53.6	60.3	60.7
09-02_Per	44.8	48.7	43.9	48.7	43.0	45.0	49.7	52.6
10-03_Neder-Over-Heembeek	58.6	55.6	56.1	55.0	51.1	50.2	60.0	58.4
11-02_Sint-Pieters-Woluwe	51.9	52.7	53.1	54.0	46.8	47.5	55.4	56.2
12-01_Duisburg	47.7	47.8	46.3	47.9	43.9	44.3	51.2	51.8
13-02_Grimbergen	46.7	47.3	47.9	48.1	38.4	40.6	49.1	50.0
14-01_Wemmel	61.7	49.5	50.0	49.1	43.2	43.6	59.3	52.1
16-02_Veltem	56.1	58.6	55.9	58.6	50.9	53.1	59.1	61.5
19-03_Vilvoorde	55.4	53.7	55.1	53.6	49.9	48.5	58.2	56.7
19-04_Vilvoorde	53.7	53.5	53.7	53.3	48.8	48.2	56.9	56.5
20-02_Machelen	56.3	55.7	53.3	55.3	50.9	50.4	59.1	58.6
20-03_Machelen	53.9	54.7	53.4	54.3	47.0	49.5	56.1	57.7
21-01_Stroombeek-Bever	53.4	52.2	53.4	51.8	48.5	47.2	56.7	55.3
24-01_Kraainem	54.7	53.6	55.2	54.5	48.4	47.9	57.4	56.7
26-02_Laken	48.2	47.9	48.2	47.4	42.7	43.0	51.2	51.0

Tableau 16 : Comparaison entre valeurs calculées et valeurs quantifiées pour les métriques Lday, Levening, Lnight et Lden, récepteurs de l'aéroport, 2019

Récepteur Bru-Env	L_day_2019		L_evening_2019		L_night_2019		L_den_2019	
	Calculé	Quantifié (AEDT)	Calculé	Quantifié (AEDT)	Calculé	Quantifié (AEDT)	Calculé	Quantifié (AEDT)
BSA_Pauw	43.2	43.1	42.6	42.3	40.1	39.3	47.3	46.8
BXL_Usin	48.9	48.4	49.5	48.6	43.8	43.7	52.2	51.8
EVE_Moss	51.9	51.1	53.5	52.3	46.6	45.9	55.4	54.5
EVE_Stro	55.8	52.7	56.4	52.9	49.3	46.5	58.5	55.4
HRN_Cort	60.9	59.3	61.5	59.0	54.0	52.9	63.4	61.7
JET_Ball	47.0	46.5	45.0	45.0	43.6	42.5	50.7	49.9
LKN_Dewa	51.8	49.5	52.0	49.6	47.4	45.5	55.4	53.3
MSJ_Vdbg	48.6	46.6	49.3	47.1	44.2	42.6	52.3	50.4
NOH_Nosp	56.5	55.1	56.3	54.7	51.2	49.8	59.5	58.0
SCH_Rood	46.9	45.8	47.6	46.3	40.0	39.1	49.4	48.4
WSL_Char	52.8	50.9	53.2	51.3	45.6	43.6	55.1	53.2
WSL_Idea	53.8	52.4	54.0	52.6	46.6	45.3	56.0	54.7
WSP_Bali	53.1	51.0	54.6	52.4	48.1	45.9	56.7	54.5
WSP_Corn	53.8	53.1	54.9	54.2	48.4	47.6	57.1	56.4

Tableau 17 : Comparaison entre valeurs calculées et valeurs quantifiées pour les métriques Lday, Levening, Lnight et Lden, récepteurs de Bruxelles-Environnement, 2019

A partir de ce tableau de comparaison, nous constatons que les valeurs quantifiées sont proches des valeurs mesurées pour les récepteurs de Bruxelles-Environnement et ceux de l'aéroport, sauf pour le récepteur 14-01_Wemmel de l'aéroport, pour la métrique Lday (qui influence Lden), que nous considérons comme anormale. A part cette anomalie, la plus grande différence relevée entre valeurs mesurées et valeurs quantifiées pour les valeurs Lden est de 3,1 dB.

Pour les sonomètres de l'aéroport, l'écart moyen pour Lden est de de 1,0 dB (sans prendre en compte 14-01_Wemmel ; il est de 1,3 dB en comptant 14-01_Wemmel). Il a été évalué à 1,4 dB pour ceux de Bruxelles-Environnement.

On pourrait penser que le logiciel AEDT sous-estime très légèrement les valeurs pour les récepteurs de Bruxelles-Environnement, mais si l'on regarde les valeurs mesurées pour les récepteurs de l'aéroport, il y a autant de valeurs modélisées inférieures aux valeurs mesurées, que de valeurs modélisées supérieures aux valeurs mesurées, et ceci même pour des récepteurs éloignés de l'aéroport (par exemple Sint-Pieters-Woluwe).

A partir de la carte des récepteurs que nous avons présentée plus haut, nous avons pu voir quels récepteurs de Bruxelles-Environnement sont proches des récepteurs de l'aéroport, afin de comparer leurs valeurs. Voici en exemple trois comparaisons pour trois récepteurs proches l'un de l'autre (valeurs en dB(A)):

Récepteur	L_day_2019		L_evening_2019		L_night_2019		L_den_2019	
	Calculé	Quantifié (AEDT)	Calculé	Quantifié (AEDT)	Calculé	Quantifié (AEDT)	Calculé	Quantifié (AEDT)
NOH_Nosp	56.5	55.1	56.3	54.7	51.2	49.8	59.5	58.0
10-03_Neder-Over-Heembeek	58.6	55.6	56.1	55.0	51.1	50.2	60.0	58.4
WSP_Bali	53.1	51.0	54.6	52.4	48.1	45.9	56.7	54.5
11-02_Sint-Pieters-Woluwe	51.9	52.7	53.1	54.0	46.8	47.5	55.4	56.2
BXL_Usin	48.9	48.4	49.5	48.6	43.8	43.7	52.2	51.8
26-02_Laken	48.2	47.9	48.2	47.4	42.7	43.0	51.2	51.0

Tableau 18 : Comparaison entre valeurs calculées et valeurs quantifiées pour les métriques Lday, Levening, Lnight et Lden, récepteurs de l'aéroport et Bruxelles-Environnement, 2019

Pour un récepteur de Bruxelles-Environnement proche d'un récepteur de l'aéroport (NOH_Nosp et Neder-Over-Heembeek, WSP_Bali et Sint-Pieters-Woluwe, BXL_Usin et Laken ci-dessus), les deux valeurs mesurées sont proches l'une de l'autre, ainsi que des valeurs quantifiées.

6.2.2 Comparaison des valeurs pour les métriques LA_{max}

Nous avons également travaillé sur la comparaison de la métrique Lamax, qui indique le niveau sonore maximal relevé lors d'un évènement, et qui peut être mesuré sur un jour ou une année, même si cette métrique est plus appropriée pour être utilisée sur un jour ou un seul évènement. Encore une fois, ce type de comparaison pour cette métrique n'est pas un exercice conventionnel mais nous avons voulu utiliser toutes les mesures fournies par les sonomètres.

A partir des données des récepteurs de l'aéroport, nous avons pu calculer les valeurs de Lamax pour chaque jour de l'année 2019 en dB, et également le nombre d'évènements qui dépassent une certaine valeur.

Voici par exemple le nombre d'évènements mesurés au-dessus de 60 dB pour le récepteur '10-03 - Neder-Over-Hembeek' de l'aéroport pour chaque jour de l'année 2019, pour la période de jour (de 07:00 à 19:00) :

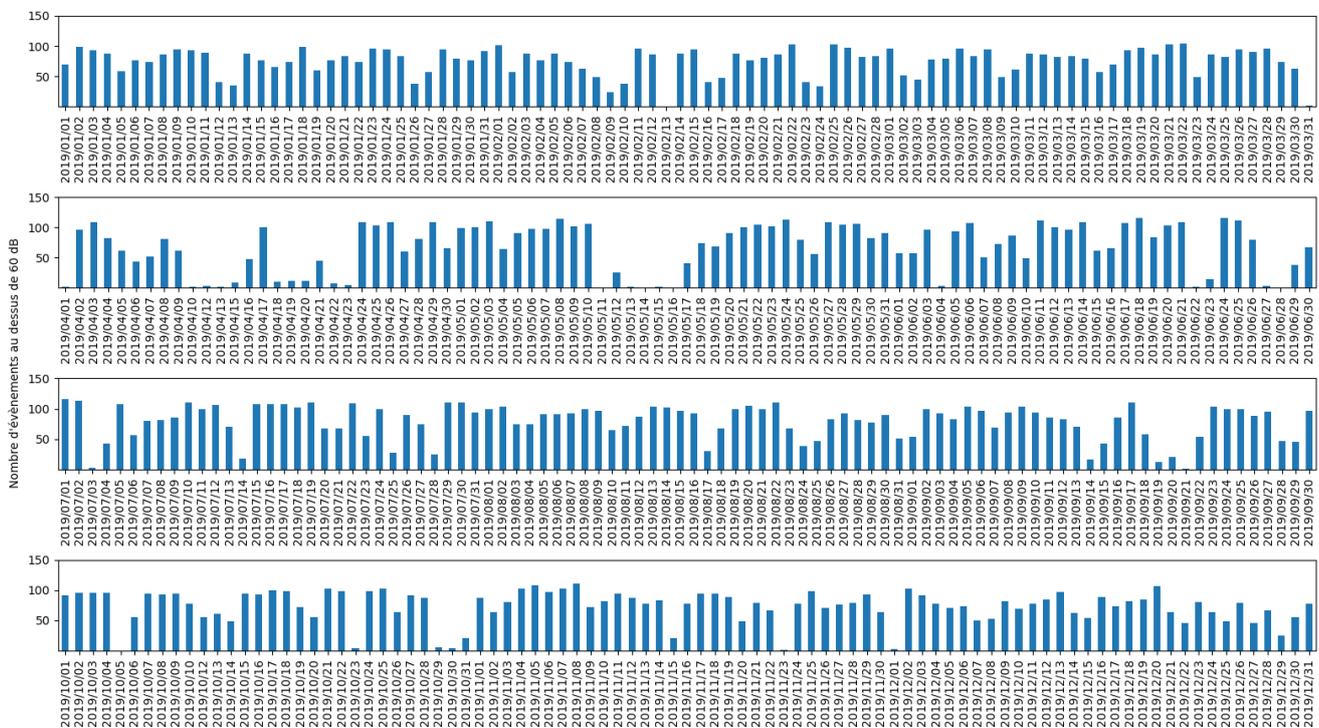


Figure 50 : Nombre d'évènements au-dessus de 60db pour un seul récepteur sur l'année 2019

Nous avons choisi de comparer, pour cette métrique, les valeurs mesurées et les valeurs quantifiées pour deux dates : le 1^{er} janvier 2019 et le 1^{er} juillet 2019 car nous avons des échantillons des données de Bruxelles-Environnement sur ces deux dates. Nous avons quantifié les valeurs pour la métrique Lamax en dB pour les périodes de jour, soir, nuit et les 3 cumulés (day, evening, night et day-evening-night) ainsi que le nombre d'évènements qui dépassent une certaine valeur (60, 65 ou 70 dB) pour les périodes de jour et de nuit.

Voici dans un premier temps les valeurs en dB(A) pour le 1^{er} janvier 2019, pour les récepteurs de l'aéroport et ceux de Bruxelles-Environnement :

01/01/2019	Lamax_day		Lamax_evening		Lamax_night		Lamax_den	
Récepteur aéroport	Mesuré	Quantifié (AEDT)	Mesuré	Quantifié (AEDT)	Mesuré	Quantifié (AEDT)	Mesuré	Quantifié (AEDT)
02-02_Kortenbergh	97.4	98.0	91.1	92.4	97.2	92.4	97.4	98.0
04-01_Nosseghem	0	61.3	0	61.1	83	81.9	83	81.9
06-01_Evere	78.7	75.7	78.9	75.2	0	61.7	78.9	75.7
07-02_Sterrebeek	0	62.9	0	61.6	71.5	73.0	71.5	73.0
08-01_Kampenhout	81.9	80.0	79.5	77.5	96	78.2	96	80.0
09-02_Pergh		65.1		65.1		64.7		65.1
10-03_Neder-Over-Heembeek	81.9	84.0	75.1	74.7	73.9	74.5	81.9	84.0
11-02_Sint-Pieters-Woluwe	74	70.1	74.2	70.1	0	59.8	74.2	70.1
12-01_Duisburg	67.9	65.9	67.8	64.8	60.7	60.7	67.9	65.9
13-02_Grimbergen	70	67.9	69.2	71.3	68.1	66.5	70	71.3
14-01_Wemmel	77.1	78.3	69.5	68.9	63.6	66.9	77.1	78.3
16-02_Veltem	82.2	80.1	76.5	75.9	82.7	75.9	82.7	80.1
19-03_Vilvoorde	78.1	76.8	76.9	74.4	72.7	73.5	78.1	76.8
19-04_Vilvoorde		79.0		74.9		72.8		79.0
20-02_Machelen	80	80.8	77	80.2	76.6	77.7	80	80.8
20-03_Machelen		79.0		79.1		76.0		79.1
21-01_Stroombeek-Bever		80.0		71.8		72.8		80.0
24-01_Kraainem	74	72.5	75.4	70.3	69.2	67.8	75.4	72.5
26-02_Laken	76.4	78.4	75.5	73.9	79.2	57.6	79.2	78.4

Tableau 19 : Comparaison entre valeurs calculées et valeurs quantifiées pour la métrique Lamax, récepteurs de l'aéroport, 01/01/2019

01/01/2019	Lamax_day		Lamax_evening		Lamax_night		Lamax_den	
Récepteur Bru-Env	Mesuré	Quantifié (AEDT)	Mesuré	Quantifié (AEDT)	Mesuré	Quantifié (AEDT)	Mesuré	Quantifié (AEDT)
BSA_Pauw	71.8	66.4	67.0	66.7	66.5	65.8	71.8	66.7
BXL_Usin	81.8	81.6	77.0	75.5	0.0	54.4	81.8	81.6
EVE_Moss	80.5	75.6	77.0	75.8	62.2	56.5	80.5	75.8
EVE_Stro	88.2	84.7	80.2	79.5	67.8	57.9	88.2	84.7
HRN_Cort	88.6	84.8	83.6	79.1	69.6	71.7	88.6	84.8
JET_Ball	72.5	67.2	70.6	66.3	66.9	68.3	72.5	68.3
LKN_Dewa	76.7	71.1	76.4	71.7	71.6	69.7	76.7	71.7
MSJ_Vdbg	80.4	80.0	77.3	73.9	0.0	56.9	80.4	80.0
NOH_Nosp	82.8	85.2	74.6	74.4	75.1	73.3	82.8	85.2
SCH_Rood	73.4	71.4	75.7	69.7	55.4	50.9	75.7	71.4
WSL_Char	81.1	74.7	81.9	74.5	61.9	59.0	81.9	74.7
WSL_Idea	76.7	73.5	75.8	70.8	69.0	69.2	76.7	73.5
WSP_Bali	76.3	69.6	77.0	68.8	61.2	56.8	77.0	69.6
WSP_Corn	75.5	71.2	79.6	70.7	64.3	62.7	79.6	71.2

Tableau 20 : Comparaison entre valeurs calculées et valeurs quantifiées pour la métrique Lamax, récepteurs de Bruxelles-Environnement, 01/01/2019

Nous pouvons voir que pour les récepteurs de l'aéroport, les valeurs maximales sont assez similaires (à l'exception du récepteur '08-01_Kampenhout' où pendant la nuit un pic a été mesuré à 96 dB. Concernant la comparaison avec les récepteurs de Bruxelles-Environnement, il y a des différences parfois importantes, par exemple pour les récepteurs WSP_Bali et WSP_Corn il y a jusqu'à 9 dB d'écart.

Voici à présent les valeurs en dB(A) pour le 1^{er} juillet 2019, pour les récepteurs de l'aéroport et ceux de Bruxelles-Environnement :

01/07/2019	Lamax_day		Lamax_evening		Lamax_night		Lamax_den	
Récepteur aéroport	Mesuré	Quantifié (AEDT)	Mesuré	Quantifié (AEDT)	Mesuré	Quantifié (AEDT)	Mesuré	Quantifié (AEDT)
02-02_Kortenbergh	94.5	95.5	93.2	94.4	93.1	92.4	94.5	95.5
04-01_Nosseghem	63.9	61.8	0	64.9	93.2	90.2	93.2	90.2
06-01_Evere	78	75.6	77.2	75.4	73.2	73.0	78	75.6
07-02_Sterrebeek	0	62.1	70.1	68.4	81.8	81.2	81.8	81.2
08-01_Kampenhout	81.4	80.8	78.3	76.8	77.4	78.1	81.4	80.8
09-02_Pergh	0	64.8	0	65.1	74.6	73.1	74.6	73.1
10-03_Neder-Over-Heembeek	80.5	84.0	86.6	81.2	77.3	78.2	86.6	84.0
11-02_Sint-Pieters-Woluwe	74.3	70.5	72.7	69.7	70.1	69.0	74.3	70.5
12-01_Duisburg	75.6	64.5	67.5	68.0	74.1	72.0	75.6	72.0
13-02_Grimbergen	72.2	70.0	70.6	70.6	66	64.5	72.2	70.6
14-01_Wemmel	74.8	74.9	80.4	77.5	67.5	67.1	80.4	77.5
16-02_Veltem	83.2	78.9	82.4	77.6	72.7	75.9	83.2	78.9
19-03_Vilvoorde		77.4		74.2		71.3		77.4
19-04_Vilvoorde	77.5	79.4	74.3	74.8	74.7	71.2	77.5	79.4
20-02_Machelen		80.8		75.7		72.5		80.8
20-03_Machelen		79.6		74.0		71.0		79.6
21-01_Stroombeek-Bever	83.5	76.0	83.3	81.3	74.5	74.2	83.5	81.3
24-01_Kraainem	84.1	71.3	73.9	70.7	73.4	71.1	84.1	71.3
26-02_Laken	0	57.5	79.9	80.2	83.7	71.0	83.7	80.2

Tableau 21 : Comparaison entre valeurs calculées et valeurs quantifiées pour la métrique Lamax, récepteurs de l'aéroport, 01/07/2019

01/07/2019	Lamax_day		Lamax_evening		Lamax_night		Lamax_den	
Récepteur Bru-Env	Mesuré	Quantifié (AEDT)	Mesuré	Quantifié (AEDT)	Mesuré	Quantifié (AEDT)	Mesuré	Quantifié (AEDT)
BSA_Pauw	67.2	64.0	74	71.0	68	66.1	74	71.0
BXL_Usin	65.5	62.3	82.2	83.3	70.7	72.2	82.2	83.3
EVE_Moss	79	76.7	82.3	73.8	71.5	71.6	82.3	76.7
EVE_Stro	79.3	75.0	87.3	86.0	74.6	72.3	87.3	86.0
HRN_Cort	82.5	82.6	95.9	87.4	78.1	78.8	95.9	87.4
JET_Ball	73.3	68.6	75.7	67.7	71.8	69.7	75.7	69.7
LKN_Dewa	77	72.1	80.9	73.5	76.7	73.3	80.9	73.5
MSJ_Vdbg	0	55.0	82.3	81.5	72	70.0	82.3	81.5
NOH_Nosp	80.4	82.8	86.6	84.5	76.3	77.2	86.6	84.5
SCH_Rood	74	72.8	72.4	67.8	67.8	67.1	74	72.8
WSL_Char	78.5	74.3	76.5	74.0	75.2	72.2	78.5	74.3
WSL_Idea	76.3	72.7	74.7	71.7	75	72.5	76.3	72.7
WSP_Bali	78.5	69.1	75.2	68.7	72.3	67.1	78.5	69.1
WSP_Corn	77.6	71.6	72.9	70.1	71.2	70.4	77.6	71.6

Tableau 22 : Comparaison entre valeurs calculées et valeurs quantifiées pour la métrique Lamax, récepteurs de Bruxelles-Environnement, 01/07/2019

Nous pouvons voir que pour le 1^{er} juillet 2019, pour les récepteurs de l'aéroport les valeurs quantifiées sont globalement proches des valeurs mesurées, excepté pour les récepteurs '24_01_Kraainem' où en journée un pic a été mesuré à 84.1 dB, et '26-02_Laken' où la nuit un pic a été mesuré à 83,7 dB alors que la valeur quantifiée est de 71,0 dB. Comme pour la date précédente, il existe des différences plus nombreuses concernant les sonomètres de Bruxelles-Environnement. Par exemple pour le sonomètre 'WSP_Bali' la différence entre les valeurs mesurées et modélisées est de plus de 5 dB pour les 3 périodes (jour, soir et nuit).

Voici la comparaison pour trois récepteurs proches l'un de l'autre pour la métrique Lamax (01/01/2019 et 01/07/2019) (valeurs en dB(A)) :

01/01/2019	Lamax_day		Lamax_evening		Lamax_night		Lamax_den	
Récepteur	Mesuré	Quantifié (AEDT)	Mesuré	Quantifié (AEDT)	Mesuré	Quantifié (AEDT)	Mesuré	Quantifié (AEDT)
NOH_Nosp	82.8	85.2	74.6	74.4	75.1	73.3	82.8	85.2
10-03_Neder-Over-Heembeek	81.9	84.0	75.1	74.7	73.9	74.5	81.9	84.0
WSP_Bali	76.3	69.6	77.0	68.8	61.2	56.8	77.0	69.6
11-02_Sint-Pieters-Woluwe	74	70.1	74.2	70.1	0	59.8	74.2	70.1
BXL_Usin	81.8	81.6	77.0	75.5	0.0	54.4	81.8	81.6
26-02_Laken	76.4	78.4	75.5	73.9	79.2	57.6	79.2	78.4

Tableau 23 : Comparaison entre valeurs calculées et valeurs quantifiées pour la métrique LAmax, récepteurs de l'aéroport et Bruxelles-Environnement, 01/01/2019

01/07/2019	Lamax_day		Lamax_evening		Lamax_night		Lamax_den	
Récepteur	Mesuré	Quantifié (AEDT)	Mesuré	Quantifié (AEDT)	Mesuré	Quantifié (AEDT)	Mesuré	Quantifié (AEDT)
NOH_Nosp	80.4	82.8	86.6	84.5	76.3	77.2	86.6	84.5
10-03_Neder-Over-Heembeek	80.5	84.0	86.6	81.2	77.3	78.2	86.6	84.0
WSP_Bali	78.5	69.1	75.2	68.7	72.3	67.1	78.5	69.1
11-02_Sint-Pieters-Woluwe	74.3	70.5	72.7	69.7	70.1	69.0	74.3	70.5
BXL_Usin	65.5	62.3	82.2	83.3	70.7	72.2	82.2	83.3
26-02_Laken	0	57.5	79.9	80.2	83.7	71.0	83.7	80.2

Tableau 24 : Comparaison entre valeurs calculées et valeurs quantifiées pour la métrique LAmax, récepteurs de l'aéroport et Bruxelles-Environnement, 01/07/2019

Pour des récepteurs proches les uns des autres, les valeurs mesurées sont assez similaires, sauf lorsque l'on compare le récepteur WSP_Bali avec le 11-02_Sint-Pieters-Woluwe ; Pour ces 2 dates les valeurs du récepteur de Bruxelles-Environnement sont supérieures à celles au récepteur de l'aéroport. Par exemple pour la métrique Lamax_day, celles-ci sont supérieures respectivement de 2,3 dB et de 4,2 dB. Les valeurs quantifiées sont similaires entre elles, et ces dernières sont proches des valeurs mesurées, sauf pour le couple de récepteurs WSP_Bali et 11-02 Sint-Pieters-Woluwe, où elles sont inférieures aux valeurs mesurées par les 2 récepteurs.

Les tableaux suivant montrent la comparaison du nombre d'évènements au-dessus de 60, 65 et 70 dB pour les périodes de jour et de la nuit, dans un premier temps à la date du 1^{er} janvier 2019 :

01/01/2019	Lamax_day_NA_60		Lamax_day_NA_65		Lamax_day_NA_70	
Récepteur aéroport	Calculé	Quantifié (AEDT)	Calculé	Quantifié (AEDT)	Calculé	Quantifié (AEDT)
02-02_Kortenberg	87	95	87	87	87	87
04-01_Nossegem	0	2	0	0	0	0
06-01_Evere	42	48	38	30	20	16
07-02_Sterrebeek	0	3	0	0	0	0
08-01_Kampenhout	45	44	45	44	43	42
09-02_Perk		25		3		0
10-03_Neder-Over-Heembeek	69	75	68	64	41	46
11-02_Sint-Pieters-Woluwe	23	31	20	15	4	1
12-01_Duisburg	38	34	20	4	0	0
13-02_Grimbergen	25	32	19	11	0	0
14-01_Wemmel	47	55	30	25	9	5
16-02_Veltem	87	87	87	85	82	85
19-03_Vilvoorde	76	78	74	68	43	25
19-04_Vilvoorde		77		60		21
20-02_Machelen	97	116	82	70	45	23
20-03_Machelen		102		56		15
21-01_Stroombeek-Bever		60		50		15
24-01_Kraainem	56	57	53	50	18	4
26-02_Laken	2	2	2	2	2	2

Tableau 25 : Comparaison entre valeurs calculées et valeurs quantifiées pour les métriques NA60 day, NA65 day et NA70 day, récepteurs de l'aéroport, 01/01/2019

01/01/2019	Lamax_day_NA_60		Lamax_day_NA_65		Lamax_day_NA_70	
Récepteur Bru-Env	Calculé	Quantifié (AEDT)	Calculé	Quantifié (AEDT)	Calculé	Quantifié (AEDT)
BSA_Pauw	19	13	3	2	1	0
BXL_Usin	2	3	2	2	2	2
EVE_Moss	45	34	28	16	11	11
EVE_Stro	62	32	53	13	20	5
HRN_Cort	132	134	127	94	65	45
JET_Ball	31	30	25	9	3	0
LKN_Dewa	58	45	38	31	24	4
MSJ_Vdbg	2	2	2	2	2	2
NOH_Nosp	88	71	71	54	42	35
SCH_Rood	25	14	11	6	1	1
WSL_Char	53	34	33	18	17	12
WSL_Idea	58	58	52	51	37	6
WSP_Bali	36	21	18	11	6	0
WSP_Corn	55	48	36	18	13	7

Tableau 26 : Comparaison entre valeurs calculées et valeurs quantifiées pour les métriques NA60 day, NA65 day et NA70 day, récepteurs de Bruxelles-Environnement, 01/01/2019

01/01/2019	Lamax_night_NA_60		Lamax_night_NA_65		Lamax_night_NA_70	
Récepteur aéroport	Calculé	Quantifié (AEDT)	Calculé	Quantifié (AEDT)	Calculé	Quantifié (AEDT)
02-02_Kortenbergh	14	15	14	14	14	14
04-01_Nossegem	1	2	1	1	1	1
06-01_Evere	0	1	0	0	0	0
07-02_Sterrebeek	1	1	1	1	1	1
08-01_Kampenhout	6	8	6	8	6	8
09-02_Perle		2		0		0
10-03_Neder-Over-Heembeek	7	8	6	7	3	6
11-02_Sint-Pieters-Woluwe	0	0	0	0	0	0
12-01_Duisburg	1	2	0	0	0	0
13-02_Grimbergen	1	2	1	1	0	0
14-01_Wemmel	4	6	0	4	0	0
16-02_Veltem	14	14	14	14	13	14
19-03_Vilvoorde	8	8	8	6	4	5
19-04_Vilvoorde		8		6		5
20-02_Machelen	8	9	8	6	5	5
20-03_Machelen		7		6		5
21-01_Stroombeek-Bever		7		7		3
24-01_Kraainem	2	3	2	3	0	0
26-02_Laken	1	0	1	0	1	0

Tableau 27 : Comparaison entre valeurs calculées et valeurs quantifiées pour les métriques NA60 night, NA65 night et NA70 night, récepteurs de l'aéroport, 01/01/2019

01/01/2019	Lamax_night_NA_60		Lamax_night_NA_65		Lamax_night_NA_70	
Récepteur Bru-Env	Calculé	Quantifié (AEDT)	Calculé	Quantifié (AEDT)	Calculé	Quantifié (AEDT)
BSA_Pauw	3	3	2	1	0	0
BXL_Usin	0	0	0	0	0	0
EVE_Moss	3	0	0	0	0	0
EVE_Stro	3	0	2	0	0	0
HRN_Cort	10	11	10	5	0	1
JET_Ball	5	6	2	3	0	0
LKN_Dewa	7	5	5	5	2	0
MSJ_Vdbg	0	0	0	0	0	0
NOH_Nosp	8	8	7	6	5	4
SCH_Rood	0	0	0	0	0	0
WSL_Char	1	0	0	0	0	0
WSL_Idea	2	3	2	3	0	0
WSP_Bali	2	0	0	0	0	0
WSP_Corn	2	1	0	0	0	0

Tableau 28 : Comparaison entre valeurs calculées et valeurs quantifiées pour les métriques NA60 night, NA65 night et NA70 night, récepteurs de Bruxelles-Environnement, 01/01/2019

A cette date, le nombre d'évènements modélisé pour chaque métrique est comparable au nombre d'évènements calculé.

A présent voici la comparaison des valeurs pour le 1^{er} juillet 2019 :

01/07/2019	Lamax_day_NA_60dB		Lamax_day_NA_65		Lamax_day_NA_70	
Récepteur aéroport	Calculé	Quantifié (AEDT)	Calculé	Quantifié (AEDT)	Calculé	Quantifié (AEDT)
02-02_Kortenber	178	186	178	178	178	178
04-01_Nossegem	1	2	0	0	0	0
06-01_Evere	108	115	106	97	50	41
07-02_Sterrebeek	0	5	0	0	0	0
08-01_Kampenhout	61	60	60	60	52	54
09-02_Per	0	45	0	0	0	0
10-03_Neder-Over-Heembeek	116	124	111	109	83	78
11-02_Sint-Pieters-Woluwe	77	94	66	29	8	2
12-01_Duisburg	73	47	28	0	2	0
13-02_Grimbergen	35	50	29	12	3	0
14-01_Wemmel	82	88	62	36	11	7
16-02_Veltem	136	178	130	175	57	171
19-03_Vilvoorde		130		90		26
19-04_Vilvoorde	124	126	109	69	41	26
20-02_Machelen		181	92	88		30
20-03_Machelen		144		65		22
21-01_Stroombeek-Bever	101	100	93	85	35	24
24-01_Kraainem	117	118	104	80	43	3
26-02_Laken	0	0	0	0	0	0

Tableau 29 : Comparaison entre valeurs calculées et valeurs quantifiées pour les métriques NA60 day, NA65 day et NA70 day, récepteurs de l'aéroport, 01/07/2019

01/07/2019	Lamax_day_NA_60		Lamax_day_NA_65		Lamax_day_NA_70	
Récepteur Bru-Env	Calculé	Quantifié (AEDT)	Calculé	Quantifié (AEDT)	Calculé	Quantifié (AEDT)
BSA_Pauw	21	13	4	0	0	0
BXL_Usin	4	5	2	0	0	0
EVE_Moss	118	101	84	48	22	14
EVE_Stro	117	99	113	29	60	10
HRN_Cort	232	243	229	199	171	116
JET_Ball	58	41	29	14	5	0
LKN_Dewa	91	82	70	56	44	9
MSJ_Vdbg	0	0	0	0	0	0
NOH_Nosp	164	126	119	97	82	59
SCH_Rood	74	42	31	14	11	2
WSL_Char	118	107	104	58	53	23
WSL_Idea	124	115	100	90	68	11
WSP_Bali	104	60	60	24	18	0
WSP_Corn	116	111	98	42	32	8

Tableau 30 : Comparaison entre valeurs calculées et valeurs quantifiées pour les métriques NA60 day, NA65 day et NA70 day, récepteurs de Bruxelles-Environnement, 01/07/2019

01/07/2019	Lamax_night_NA_60dB		Lamax_night_NA_65dB		Lamax_night_NA_70	
Récepteur aéroport	Calculé	Quantifié (AEDT)	Calculé	Quantifié (AEDT)	Calculé	Quantifié (AEDT)
02-02_Kortenbergh	10	12	10	10	10	10
04-01_Nossegem	7	8	7	7	7	7
06-01_Evere	17	17	17	14	13	5
07-02_Sterrebeek	6	6	6	6	6	6
08-01_Kampenhout	8	8	8	8	7	8
09-02_Perle	21	28	21	21	14	14
10-03_Neder-Over-Heembeek	17	16	13	13	10	9
11-02_Sint-Pieters-Woluwe	13	14	12	5	1	0
12-01_Duisburg	18	12	8	4	2	1
13-02_Grimbergen	2	2	1	0	0	0
14-01_Wemmel	11	11	7	4	0	0
16-02_Veltem	11	10	11	10	4	10
19-03_Vilvoorde		14		10		1
19-04_Vilvoorde	13	14	12	10	1	1
20-02_Machelen		24		12		2
20-03_Machelen		19		7		1
21-01_Stroombeek-Bever	13	11	11	11	6	4
24-01_Kraainem	17	18	16	13	9	1
26-02_Laken	5	4	5	4	4	1

Tableau 31 : Comparaison entre valeurs calculées et valeurs quantifiées pour les métriques NA60 night, NA65 night et NA70 night, récepteurs de l'aéroport, 01/07/2019

01/07/2019	Lamax_night_NA_60		Lamax_night_NA_65		Lamax_night_NA_70	
Récepteur Bru-Env	Calculé	Quantifié (AEDT)	Calculé	Quantifié (AEDT)	Calculé	Quantifié (AEDT)
BSA_Pauw	3	1	1	1	0	0
BXL_Usin	5	4	5	4	2	1
EVE_Moss	23	17	13	5	3	2
EVE_Stro	21	18	21	7	17	2
HRN_Cort	35	34	34	27	27	21
JET_Ball	10	7	7	3	1	0
LKN_Dewa	16	12	10	9	7	2
MSJ_Vdbg	5	4	5	4	4	1
NOH_Nosp	26	18	13	13	11	7
SCH_Rood	10	5	3	2	0	0
WSL_Char	18	15	15	8	8	3
WSL_Idea	21	19	16	16	14	2
WSP_Bali	15	6	6	3	3	0
WSP_Corn	18	16	14	7	4	1

Tableau 32 : Comparaison entre valeurs calculées et valeurs quantifiées pour les métriques NA60 night, NA65 night et NA70 night, récepteurs de Bruxelles-Environnement, 01/07/2019

A la date du 1^{er} juillet 2019, il existe des différences entre le nombre d'évènements calculé et le nombre d'évènements quantifié pour la période de jour. Comme cela avait été remarqué pour les valeurs en dB, ces différences sont plus nombreuses pour les sonomètres de Bruxelles-Environnement. En ce qui concerne le nombre d'évènements pour la période de nuit, les valeurs sont similaires.

Enfin, nous avons comparé les valeurs calculées (à partir des mesures) aux valeurs quantifiées pour les métriques de nombres d'évènements supérieurs à une certaine valeur Lamax en dB(A), ceci sur l'ensemble de l'année 2019. Nous avons pu faire cette comparaison annuelle uniquement pour les récepteurs de l'aéroport, car nous avons les données des sonomètres pour l'indicateur Lamax pour tous les jours de 2019, alors que nous n'avons seulement que deux dates dans les données de Bruxelles-Environnement.

Les métriques qui ont été comparées, représentant un nombre moyen d'évènement par jour au-dessus d'une certaine valeur en 2019, sont les suivantes :

- Nombre moyen d'évènements supérieurs à 60 dB(A), jour
- Nombre moyen d'évènements supérieurs à 65 dB(A), jour
- Nombre moyen d'évènements supérieurs à 70 dB(A), jour

- **Nombre moyen d'évènements supérieurs à 60 dB(A), jour+soir**
- Nombre moyen d'évènements supérieurs à 65 dB(A), jour+soir
- **Nombre moyen d'évènements supérieurs à 70 dB(A), jour+soir**

- **Nombre moyen d'évènements supérieurs à 60 dB(A), nuit**
- Nombre moyen d'évènements supérieurs à 65 dB(A), nuit
- **Nombre moyen d'évènements supérieurs à 70 dB(A), nuit**

Les métriques écrites en gras sont celles utilisées pour les contours de bruit de la [base](#) représentant l'année 2019, en plus de Lden et Lnight.

La dernière métrique de cette liste, en gras et soulignée, est la métrique additionnelle utilisée pour comparer un niveau de contour dans les cartes de contour de bruit générées pour les scénarios modélisés.

Voici les comparaisons pour ces métriques dans les tableaux ci-dessous :

2019	Lamax_day_NA_60		Lamax_day_NA_65		Lamax_day_NA_70	
Récepteur aéroport	Calculé	Quantifié (AEDT)	Calculé	Quantifié (AEDT)	Calculé	Quantifié (AEDT)
02-02_Kortenber	137	148	137	140	137	139
04-01_Nossegem	19	38	19	24	19	19
06-01_Evere	64	69	58	45	25	13
07-02_Sterrebeek	6	12	6	6	5	4
08-01_Kampenhout	72	71	62	60	49	51
09-02_Per	9	38	8	6	5	3
10-03_Neder-Over-Heembeek	74	78	65	60	42	39
11-02_Sint-Pieters-Woluwe	54	68	44	26	17	13
12-01_Duisburg	51	42	21	10	2	0
13-02_Grimbergen	24	29	19	13	3	1
14-01_Wemmel	45	47	33	20	8	2
16-02_Veltem	114	133	92	129	55	110
19-03_Vilvoorde	76	76	71	53	44	21
19-04_Vilvoorde	69	74	61	47	27	19
20-02_Machelen	115	131	86	66	39	25
20-03_Machelen	92	103	64	55	25	16
21-01_Stroombeek-Bever	54	52	46	43	20	15
24-01_Kraainem	87	90	76	69	36	24
26-02_Laken	12	20	12	13	8	4

Tableau 33 : Comparaison entre valeurs calculées et valeurs quantifiées pour les métriques NA60 day, NA65 day et NA70 day, pour les récepteurs de l'aéroport, pour l'année 2019

2019	Lamax_day+evening_NA_60		Lamax_day+evening_NA_65		Lamax_day+evening_NA_70	
Récepteur aéroport	Calculé	Quantifié (AEDT)	Calculé	Quantifié (AEDT)	Calculé	Quantifié (AEDT)
02-02_Kortenber	185	201	185	189	185	188
04-01_Nossegem	28	51	28	34	27	27
06-01_Evere	87	94	78	62	33	18
07-02_Sterrebeek	8	17	8	7	7	6
08-01_Kampenhout	98	97	85	82	68	70
09-02_Per	11	51	11	9	7	4
10-03_Neder-Over-Heembeek	98	102	86	79	53	49
11-02_Sint-Pieters-Woluwe	76	95	62	38	25	19
12-01_Duisburg	69	56	26	13	3	1
13-02_Grimbergen	33	40	26	18	4	1
14-01_Wemmel	59	60	49	24	9	3
16-02_Veltem	156	181	125	175	74	151
19-03_Vilvoorde	102	101	94	71	57	27
19-04_Vilvoorde	94	99	82	63	36	25
20-02_Machelen	150	175	111	87	51	32
20-03_Machelen	120	136	84	72	33	21
21-01_Stroombeek-Bever	73	67	61	55	23	19
24-01_Kraainem	120	124	106	95	49	35
26-02_Laken	16	24	16	16	10	5

Tableau 34 : Comparaison entre valeurs calculées et valeurs quantifiées pour les métriques NA60 day+evening, NA65 day+evening et NA70 day+evening, pour les récepteurs de l'aéroport, pour l'année 2019

2019	Lamax_night_NA_60		Lamax_night_NA_65		Lamax_night_NA_70	
	Calculé	Quantifié (AEDT)	Calculé	Quantifié (AEDT)	Calculé	Quantifié (AEDT)
Récepteur aéroport						
02-02_Kortenbergh	17	19	17	17	17	17
04-01_Nossegem	8	10	8	8	8	8
06-01_Evere	7	8	6	5	3	1
07-02_Sterrebeek	6	6	6	5	6	5
08-01_Kampenhout	20	20	19	19	17	18
09-02_Perle	4	10	4	3	3	2
10-03_Neder-Over-Heembeek	14	14	12	11	8	9
11-02_Sint-Pieters-Woluwe	8	9	6	4	3	3
12-01_Duisburg	10	9	5	5	1	1
13-02_Grimbergen	3	4	2	2	0	0
14-01_Wemmel	9	10	6	5	1	0
16-02_Veltem	16	17	14	17	9	16
19-03_Vilvoorde	11	13	10	10	7	4
19-04_Vilvoorde	13	12	11	9	5	3
20-02_Machelen	16	22	12	12	7	5
20-03_Machelen	10	19	8	10	4	3
21-01_Stroombeek-Bever	11	10	10	9	5	4
24-01_Kraainem	11	12	10	9	5	4
26-02_Laken	4	4	4	4	2	1

Tableau 35 : Comparaison entre valeurs calculées et valeurs quantifiées pour les métriques NA60 night, NA65 night et NA70 night, pour les récepteurs de l'aéroport, pour l'année 2019

Comme pour les deux dates regardées précédemment, il existe parfois des différences entre les valeurs pour les périodes de jour et jour+soir, qui peuvent aller dans les deux sens (valeur calculée supérieure à la valeur quantifiée ou inversement) mais globalement les valeurs calculées et quantifiées sont du même ordre de grandeur. Lorsque l'on compare les valeurs pour la période de nuit, celles-ci sont très proches.

En conclusion, la comparaison entre mesures et quantifications et le croisement des valeurs nous permet de dire que pour les métriques Lden, Lday, Levening, Lden, les valeurs quantifiées avec AEDT sont valides, car elles sont proches des valeurs calculées provenant à la fois des données des sonomètres de Bruxelles-Environnement et de l'aéroport, tout en sachant qu'il existe des différences de mesure pour des vols avec les mêmes caractéristiques, comme nous l'avons vu dans la partie précédente.

Pour les indicateurs Lamax on peut observer, sur les deux dates pour lesquelles les valeurs ont été comparées, des différences parfois importantes entre les valeurs mesurées et les valeurs quantifiées en dB, mais globalement les valeurs sont similaires. Certaines de ces différences se retrouvent aussi lorsque l'on regarde le nombre d'évènements qui dépassent un certain seuil pour la période de jour. Cela nous montre qu'il est plus difficile de faire une comparaison pour cette métrique (ce que nous avons avancé au début de cette section). Il existe tout de même une interrogation concernant le récepteur WSP_Bali car pour les 2 dates examinées, les valeurs Lamax sont nettement supérieures à la fois aux valeurs mesurées par le récepteur géographiquement proche 11-02_Sint-Pieters-Woluwe et à la fois aux valeurs quantifiées.

Concernant les métriques de nombre moyen d'évènements supérieurs à un certain niveau sonore sur l'ensemble de l'année 2019, pour les récepteurs de l'aéroport, il existe aussi certaines différences, mais globalement les valeurs calculées et quantifiées sont proches les unes des autres, et cela se voit plus significativement pour la période de nuit.

6.3 Comparaison entre mesures et quantifications – 2017

Dans le cadre du jugement de décembre 2020, il nous a aussi été demandé de justifier la cartographie de 2017, nous avons donc comparé les valeurs mesurées avec les valeurs modélisées pour l'année 2017, pour les métriques Lday, Levening, Lnight et Lden. Nous avons utilisé la même méthode que pour l'année 2019.

Les valeurs pour les sonomètres de l'aéroport et ceux de Bruxelles-Environnement sont données en dB(A) dans les tableaux ci-dessous :

Récepteur aéroport	L_day_2017		L_evening_2017		L_night_2017		L_den_2017	
	Calculé	Quantifié (AEDT)	Calculé	Quantifié (AEDT)	Calculé	Quantifié (AEDT)	Calculé	Quantifié (AEDT)
02-02_Kortenbergh	70.2	70.1	69.6	69.9	64.6	63.9	72.9	72.6
04-01_Nosseghem	63.1	63.0	64.1	63.9	60.6	59.7	67.9	67.3
06-01_Evere	54.3	52.6	54	52.5	45	44.0	55.7	54.3
07-02_Sterrebeek	49.1	49.5	48.1	48.5	50.4	50.3	56.5	56.4
08-01_Kampenhout	56.7	56.0	56.9	56.4	53.9	53.7	61.2	60.9
09-02_Perle	45	48.1	40.3	47.0	43.8	45.4	50	52.4
10-03_Neder-Over-Heembeek	59.8	56.1	56.2	54.7	51	50.8	60.5	58.8
11-02_Sint-Pieters-Woluwe	56	53.3	53.7	54.1	46.9	47.4	56.9	56.3
12-01_Duisburg	49.8	48.3	49.3	48.0	44.9	44.4	52.9	52.0
13-02_Grimbergen	47.5	47.6	48.1	47.8	39	41.5	49.5	50.3
14-01_Wemmel	49.9	49.6	50.4	48.7	42.6	44.2	52.2	52.3
16-02_Veltem	59.3	58.7	58.7	58.4	53.5	52.7	62	61.3
19-03_Vilvoorde	56	54.2	55.3	53.7	49.9	49.4	58.5	57.4
20-02_Machelen	66.8	56.0	55.5	55.3	51.2	51.7	64.8	59.4
21-01_Stroombeek-Bever	58.3	52.5	53.7	51.5	48.4	47.7	58.4	55.5
24-01_Kraainem	56.2	54.3	56.2	54.8	48.9	48.0	58.4	57.0
26-02_Laken	49.9	48.4	50	48.1	44.1	44.1	52.7	51.8

Tableau 36 : Comparaison entre valeurs calculées et valeurs quantifiées pour les métriques Lday, Levening, Lnight et Lden, récepteurs de l'aéroport, 2017

Récepteur Bru-Env	L_day_2017		L_evening_2017		L_night_2017		L_den_2017	
	Calculé	Quantifié (AEDT)	Calculé	Quantifié (AEDT)	Calculé	Quantifié (AEDT)	Calculé	Quantifié (AEDT)
BSA_Pauw	42.1	42.3	42.1	40.9	37.9	39.1	45.7	46.3
BXL_Usin	50.5	49.4	50.8	49.9	45.3	44.5	53.7	52.7
EVE_Moss	52.1	51.0	52.5	51.0	44.6	44.4	54.3	53.4
EVE_Stro	55.7	53.1	56	53.4	48.6	46.8	58	55.7
HRN_Cort	61.2	59.6	61.6	59.2	54	53.5	63.5	62.2
JET_Ball	-	45.7	-	43.3	-	42.7	-	49.6
LKN_Dewa	-	50.1	-	48.8	-	45.7	-	53.3
MSJ_Vdbg	50.2	47.8	50.6	48.2	45	43.3	53.4	51.3
NOH_Nosp	56.4	55.4	55.8	54.2	50.5	50.3	59	58.3
SCH_Rood	45.9	45.6	46.6	45.6	36.4	37.8	47.6	47.6
WSL_Char	-	50.9	-	50.7	-	42.2	-	52.5
WSL_Idea	54.4	52.7	54.5	52.6	46.1	44.8	56.2	54.6
WSP_Bali	-	51.6	-	52.5	-	45.8	-	54.7
WSP_Corn	54.4	53.7	54.9	54.4	47.9	47.6	57.1	56.5

Tableau 37 : Comparaison entre valeurs calculées et valeurs quantifiées pour les métriques Lday, Levening, Lnight et Lden, récepteurs de Bruxelles-Environnement, 2017

On observe que les valeurs quantifiées sont très proches des valeurs mesurées (la différence la plus importante est de 2,9 dB), excepté pour le sonomètre de l'aéroport '20-02 Machelen', pour la métrique Lday (et qui influence Lden) que nous considérons comme une anomalie. Ce sonomètre a d'ailleurs été remplacé le 20/12/2019.

Pour la métrique Lden, l'écart moyen pour les récepteurs de l'aéroport est de 1,0 dB (sans prendre en compte le récepteur 20-02 Machelen ; il est de 1,3 dB en comptant 20-02_Machelen) et pour les récepteurs de Bruxelles-Environnement il est de 1,1 dB.

De la même manière que pour 2019, voici trois comparaisons pour trois récepteurs proches l'un de l'autre (valeurs en dB(A)) :

Récepteur	L_day_2017		L_evening_2017		L_night_2017		L_den_2017	
	Calculé	Quantifié (AEDT)	Calculé	Quantifié (AEDT)	Calculé	Quantifié (AEDT)	Calculé	Quantifié (AEDT)
10-03_Neder-Over-Heembeek	59.8	56.1	56.2	54.7	51	50.8	60.5	58.8
NOH_Nosp	56.4	55.4	55.8	54.2	50.5	50.3	59	58.3
11-02_Sint-Pieters-Woluwe	56	53.3	53.7	54.1	46.9	47.4	56.9	56.3
WSP_Bali	-	51.6	-	52.5	-	45.8	-	54.7
WSP_Corn	54.4	53.7	54.9	54.4	47.9	47.6	57.1	56.5
26-02_Laken	49.9	48.4	50	48.1	44.1	44.1	52.7	51.8
BXL_Usin	50.5	49.4	50.8	49.9	45.3	44.5	53.7	52.7

Tableau 38 : Comparaison entre valeurs calculées et valeurs quantifiées pour les métriques Lday, Levening, Lnight et Lden, récepteurs de l'aéroport et Bruxelles-Environnement, 2017

Bruxelles-Environnement n'avait pas calculé les valeurs pour le sonomètre WSP_Bali donc nous avons inclus WSP_Corn dans le tableau qui est proche du sonomètre 11-02 également.

Nous pouvons remarquer que d'une part, pour un récepteur de l'aéroport et un récepteur de Bruxelles-Environnement géographiquement proches, les deux valeurs mesurées sont équivalentes, et proches des valeurs quantifiées.

En conclusion, cette analyse est similaire à celle réalisée pour la comparaison des valeurs sur l'année 2019 : les valeurs modélisées sont proches des valeurs mesurées à la fois par les sonomètres de l'aéroport et ceux de Bruxelles-Environnement, et nous permet d'affirmer que la cartographie établie pour 2017 est valide.

7 Scénarios

7.1 Scénario 0 : Base 2019

Nous avons établi un scénario de base correspondant au trafic aérien pendant l'année 2019 qui servira de point de départ dans la construction des différents scénarios, et aussi de référence pour comparer les nouveaux contours de ces scénarios.

Nous avons choisi de nous baser sur l'année 2019 pour les raisons suivantes :

- L'utilisation des pistes en 2019 est plus représentative de la norme. ; les pistes 07R et 07L sont trop peu utilisées en 2017 par rapport à d'habitude.
- La flotte en 2019 ressemble plus à la flotte actuelle car elle comporte plus d'avions de nouvelle génération.
- Les scénarios alternatifs se basent sur les données 2019 et extrapolent à partir d'elles. Il est donc utile d'être consistant et de travailler avec les mêmes données tout du long.
- Enfin, les données de 2017 ont déjà été étudiées dans le Chapitre 1 : les contours de bruit ont été réalisés et documentés, et ils sont justifiés dans ce chapitre à la section précédente « 6.3 Comparaison entre mesures et quantifications – 2017 ».
-

Nous ne pensons pas que le jugement du 19 juillet 2017 qui impartissait à l'étude « *d'objectiver, de manière scientifique, indépendante et transparente, l'activité actuelle de l'aéroport* » interdise d'appréhender une situation postérieure. Au contraire, se baser sur l'année 2019 pour créer des scénarios pouvant être implémentés à l'avenir nous semble logique.

Nous avons obtenu avec un programme les squelettes de trajectoires à partir des trajectoires radar de 2019, qui sont des clusters composés d'une trajectoire principale que l'on appelle « backbone track », et de 6 sous-trajectoires dispersées autour de la trajectoire principale que l'on appelle « subtracks ». Ces dernières permettent de représenter la dispersion des vols dans le cluster : la backbone track a le pourcentage le plus élevé de vols dans le cluster, et les subtracks ont des pourcentages décroissants selon leur position derrière la backbone (les subtracks aux extrémités ont les plus faibles pourcentages).

Voici les backbone tracks et les subtracks pour les départs sur la piste 25R en 2019 (la quantité d'opérations par cluster n'est pas identifiable, seulement la dispersion est identifiable sur cette figure) :

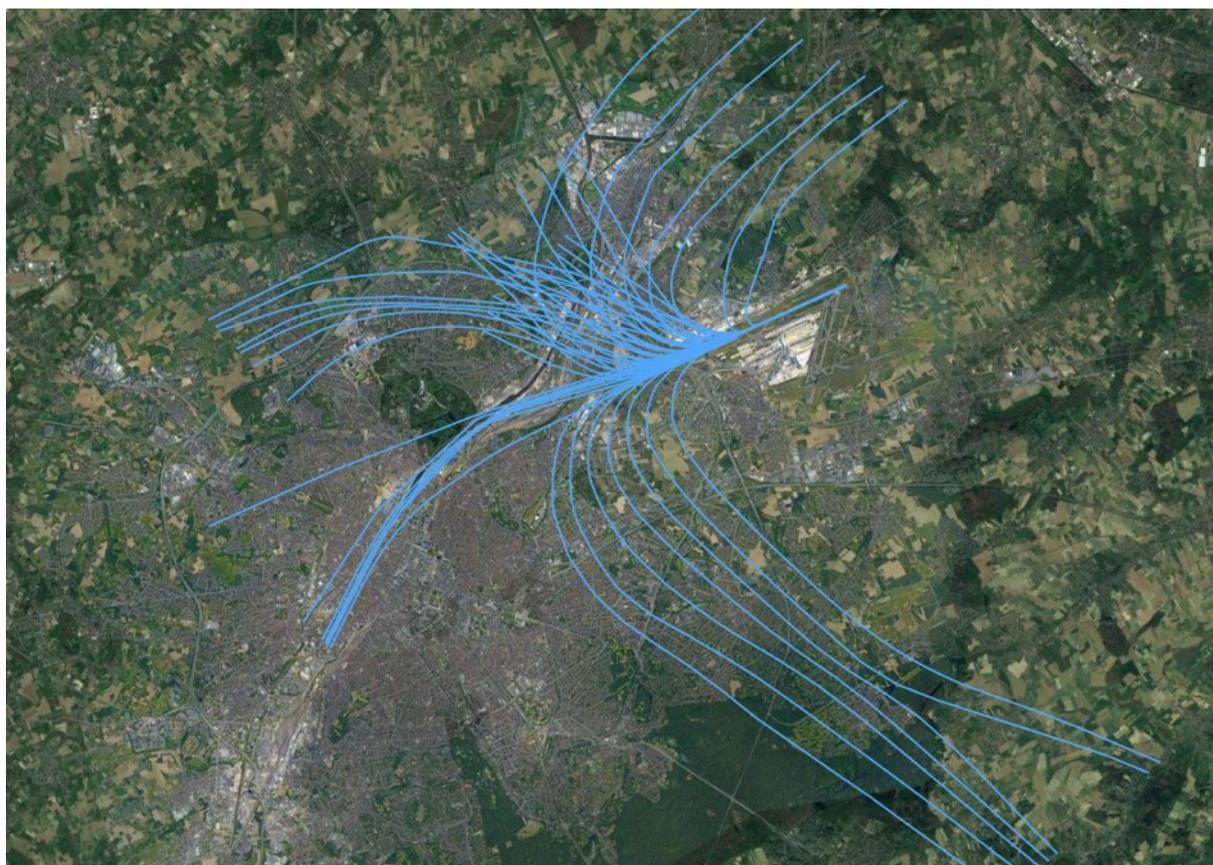


Figure 51 : Backbone tracks et subtracks – départs piste 25R

Avec 7 sous-trajectoires, la dispersion est de 28,2% pour la trajectoire centrale, 22,2% pour les 2 sous-trajectoires de chaque côté de la trajectoire centrale, puis 10,6% et enfin 3,1% pour les 2 sous-trajectoires les plus éloignées de la trajectoire centrale.

Nous avons traité ces nouvelles trajectoires pour les insérer dans le logiciel de modélisation AEDT puis nous avons assigné à chaque opération originale une backbone track qui correspond au cluster dans laquelle cette opération se situe.

Afin de pouvoir modéliser efficacement les différents scénarios, nous avons ensuite regroupé les opérations dans AEDT qui sont sur la même trajectoire et qui ont :

- Le même type d'opération (départ ou arrivée)
- Le même type d'avion
- Le même profil
- Le même stage length (représentatif de la masse de l'avion, définition donnée en [6.1](#))

Cette agrégation nous a permis de modéliser plus efficacement tous les scénarios, et d'obtenir des résultats rapidement car des opérations identiques ne sont pas recalculées.

Nous avons modélisé, pour 2019, les contours pour les métriques suivantes :

- Lden

- Lnight
- Nombre d'évènements moyen par jour au-dessus de 60 dB, jour+soir (N60 day-evening)
- Nombre d'évènements moyen par jour au-dessus de 60 dB, nuit (N60 night)
- Nombre d'évènements moyen par jour au-dessus de 70 dB, jour+soir (N70 day-evening)
- Nombre d'évènements moyen par jour au-dessus de 70 dB, nuit (N70 night)

Les métriques N60 et N70 représentent des contours (des niveaux), en nombre d'évènements qui ont dépassé 60 dB, ou 70 dB. Par exemple, pour la métrique N70 night, le contour 5x représente la zone à l'intérieur de laquelle il y a plus de 5 évènements dépassant 70 dB pour la période de nuit, en moyenne sur l'année. Les cartes qui représentent ces métriques donnent une meilleure représentation de la fréquence des survols, elles complètent les cartes avec les métriques d'exposition au bruit moyen Lden et Lnight.

Nous présentons ci-dessous les contours obtenus avec les trajectoires principales et les sous-trajectoires de cette base pour chacune de ces métriques, pour l'année 2019. Pour voir les cartes en haute résolution, le lecteur peut cliquer sur les figures pour ouvrir la page web avec la carte.

Comme écrit dans la partie précédente, les pics de bruit ne sont pas représentables dans une cartographie représentant le bruit sur une année. Ce qui est faisable est de montrer les contours délimitant le nombre de fois où un évènement a dépassé une certaine valeur en moyenne sur l'année (60 ou 70 dB). C'est ce qui est fait avec les métriques N60 et N70.

7.1.1 Lden 2019

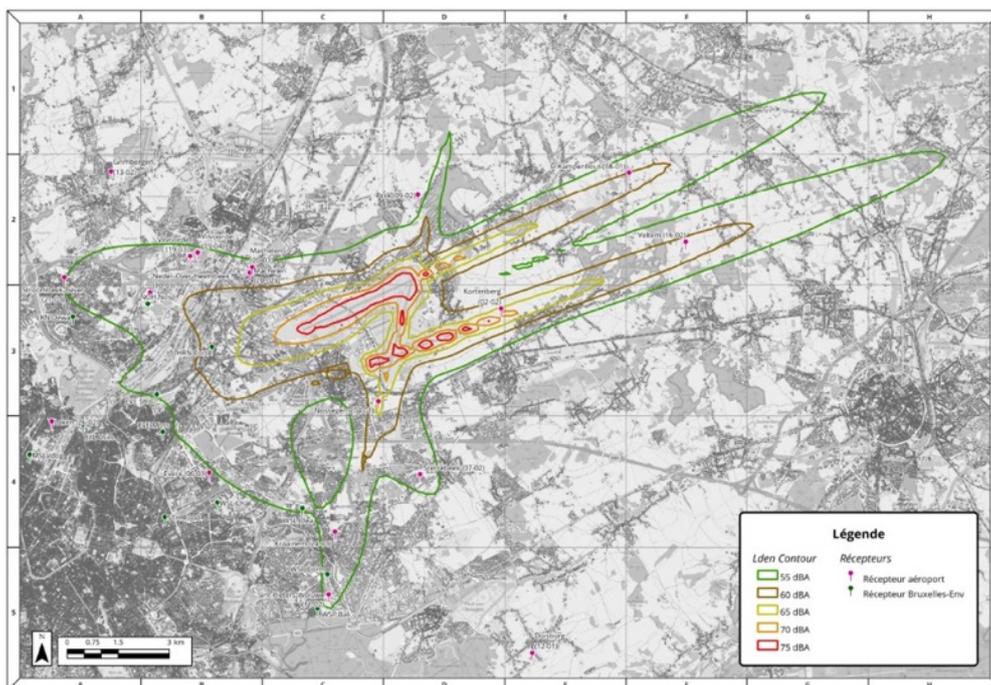


Figure 52 : Base 2019, métrique Lden

Voici aussi la comparaison avec les contours obtenus en modélisant chaque mouvement individuellement en 2019 pour la métrique Lden avec les contours 55, 60, 65, 70 et 75 dB :

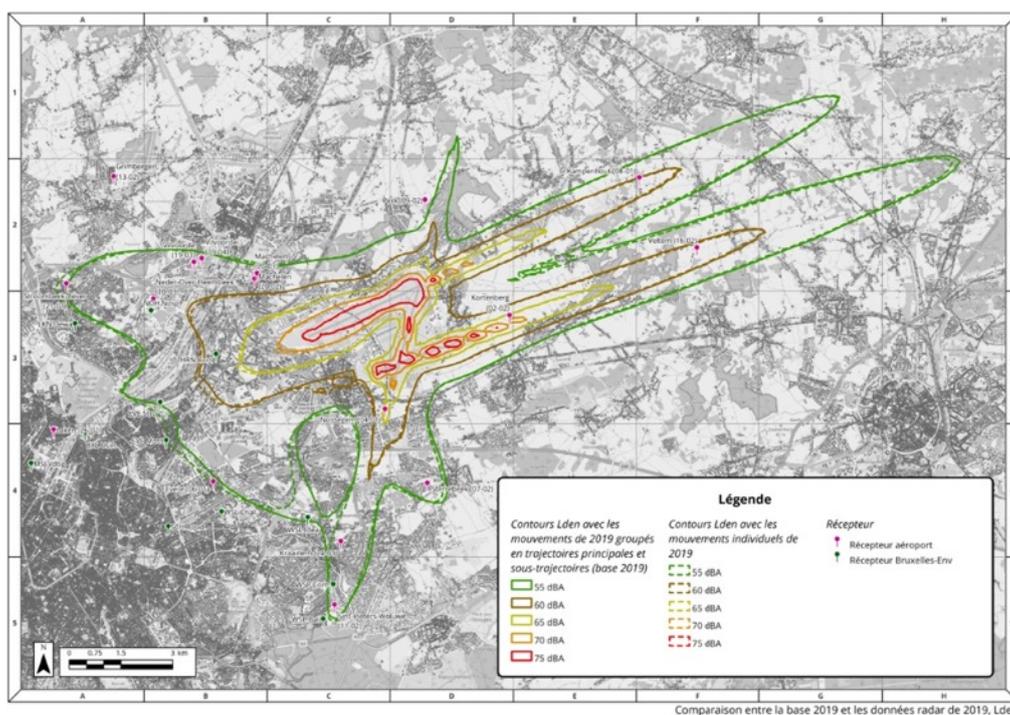


Figure 53 : Comparaison entre la base et les données radar originales pour 2019, métrique Lden

On peut voir que les contours obtenus avec les backbone tracks et les subtracks correspondent aux contours obtenus en modélisant chaque mouvement individuellement.

Population exposée pour la métrique Lden

Dans toute cette étude, les données de population utilisées sont celles disponibles sur le site Statbel [Open Data | Statbel \(fgov.be\)](#) pour l'année 2019.

Contour Lden	Aire du contour (km ²)	Population exposée*	Population potentiellement très gênée % (HA)	Population potentiellement très gênée (HA)
55	107,7	122 543	26,73	32 762
60	38,1	29 095	35,96	10 462
65	14,3	6 379	45,54	2 905
70	5,5	249	55,49	138
75	2,0	13	65,79	9
55 à 60	69,6	93 448		22 299
60 à 65	23,8	22 716		7 557
65 à 70	8,8	6 130		2 767
70 à 75	3,5	236		130
≥75	2,0	13		9

Tableau 39 : Population exposée pour la métrique Lden, base 2019

*Population exposée : La population des secteurs traversés par le contour est calculée proportionnellement à la surface du secteur à l'intérieur du contour

Dans ce tableau qui montre la population exposée et dans les suivants, les premières lignes représentent le nombre d'habitants total à l'intérieur d'un niveau. Par exemple, il y a 122 543 personnes exposées à un bruit Lden supérieur à 55 dB(A). Les lignes suivantes représentent la population exposée entre 2 niveaux. Par exemple, il y a 93 448 personnes exposées à un niveau de bruit Lden compris entre 55 et 60 dB(A).

Le calcul du pourcentage de la population potentiellement très gênée est expliqué à la fin de la [section 5.5](#).

7.1.2 Lnight 2019

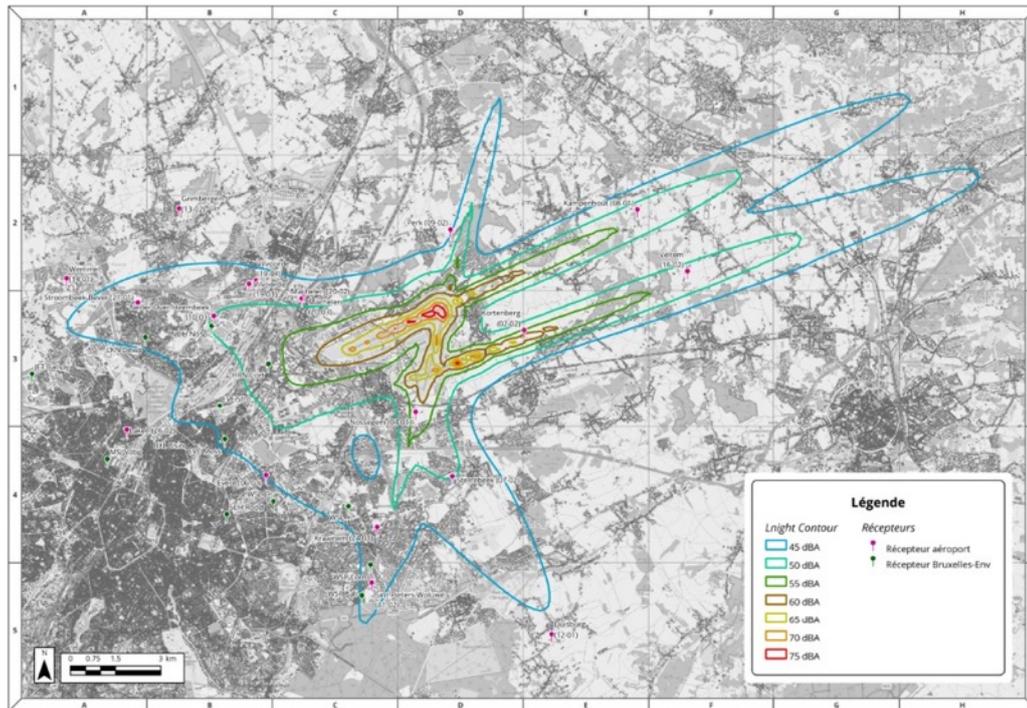


Figure 54 : Base 2019, métrique Lnight

Voici aussi la comparaison avec les contours obtenus en modélisant chaque mouvement individuellement en 2019 pour la métrique Lnight avec les contours 45, 50, 55, 60, 65, 70 et 75 dB :

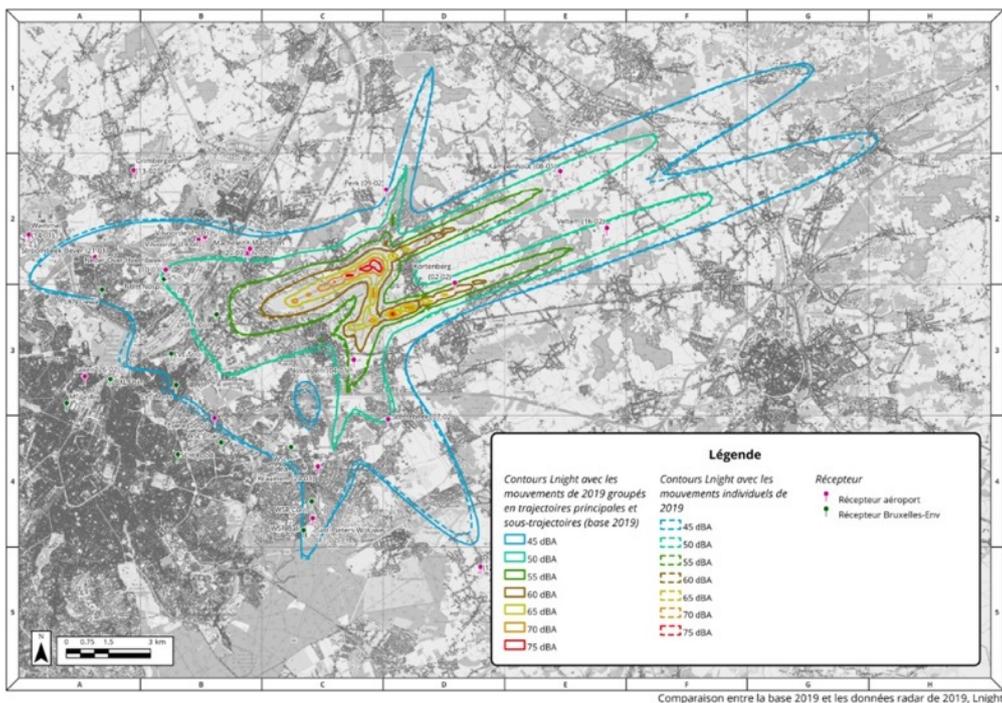


Figure 55 : Comparaison entre la base et les données radar originales pour 2019, métrique Lnight

On peut voir qu'ici aussi les contours obtenus avec les backbone tracks et les subtracks pour la métrique Lnight correspondent aux contours obtenus en modélisant chaque mouvement individuellement.

Population exposée pour la métrique Lnight

Contour Lnight	Aire du contour (km ²)	Population exposée*	Population subissant de fortes perturbations du sommeil % (HSD)	Population potentiellement très gênée (HSD)
45	161,0	215 205	15,07%	32 421
50	56,8	43 742	19,82%	8 671
55	20,7	10 696	25,57%	2 735
60	7,9	951	32,31%	307
65	3,0	84	40,04%	34
70	0,9	2	48,76%	1
75	0,2	0	58,47%	0
45 à 50	104,1	171 463		23 749
50 à 55	36,1	33 045		5 936
55 à 60	12,8	9 745		2 428
60 à 65	4,9	867		274
65 à 70	2,1	82		33
70 à 75	0,7	2		1
≥75	0,2	0		0

Tableau 40 : Population exposée pour la métrique Lnight, base 2019

*Population exposée : La population des secteurs traversés par le contour est calculée proportionnellement à la surface du secteur à l'intérieur du contour

Nous rappelons que la période de nuit prise en compte est comprise entre 23h00 et 7h00. Le calcul du pourcentage de la population subissant des fortes perturbations du sommeil est expliqué à la fin de la [section 5.5](#).

7.1.3 Nombre d'évènements moyen par jour au-dessus de 60 dB, jour et soir, 2019

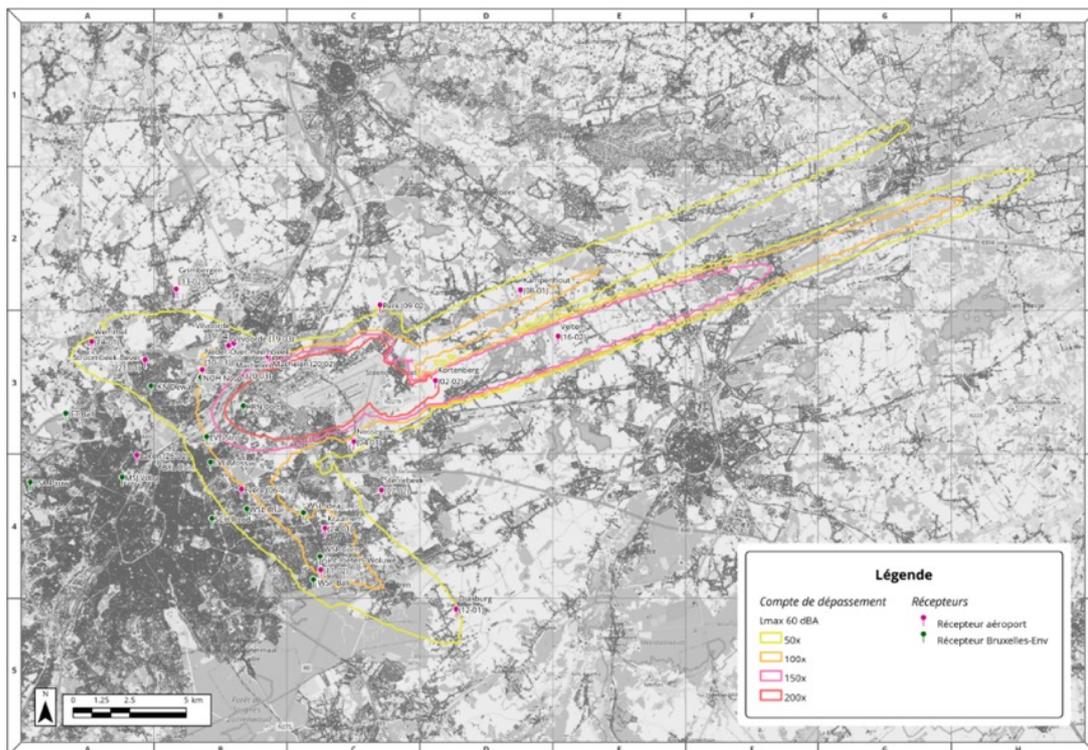


Figure 56 : Base 2019, métrique N60 day+evening

Population exposée pour la métrique N60 day+evening

Contour N60 d-e	Aire du contour (km ²)	Population exposée*
50x	207,0	320 441
100x	97,9	105 393
150x	55,2	42 433
200x	24,5	26 355
50x à 100x	109,2	215 049
100x à 150x	42,7	62 959
150x à 200x	30,7	16 078
≥200x	24,5	26 355

Tableau 41 : Population exposée pour la métrique N60 day+evening, base 2019

*Population exposée : La population des secteurs traversés par le contour est calculée proportionnellement à la surface du secteur à l'intérieur du contour

Les contours de bruit pour les métriques de Nombre d'évènements au-dessus d'un niveau ont une forme ondulée car ils correspondent à des points reliés. Ces points sont les endroits où le niveau spécifié a été dépassé

le même nombre de fois. Par exemple dans la figure 56, la ligne jaune relie les points où le niveau sonore maximal a dépassé 50 fois la valeur 60 dB(A), entre 7h et 23h, en moyenne par jour.

Ainsi, Pour cette métrique N60 day-evening il y a eu 320 441 personnes exposées à plus de 50 évènements qui ont dépassé 60 dB(A), en moyenne par jour en 2019, entre 7h et 23h. Il y a eu 215 049 personnes exposées à un nombre d'évènements compris entre 50 et 100, dépassant 60 dB(A), en moyenne par jour en 2019, entre 7h et 23h.

7.1.4 Nombre d'évènements moyen par jour au-dessus de 60 dB, nuit, 2019

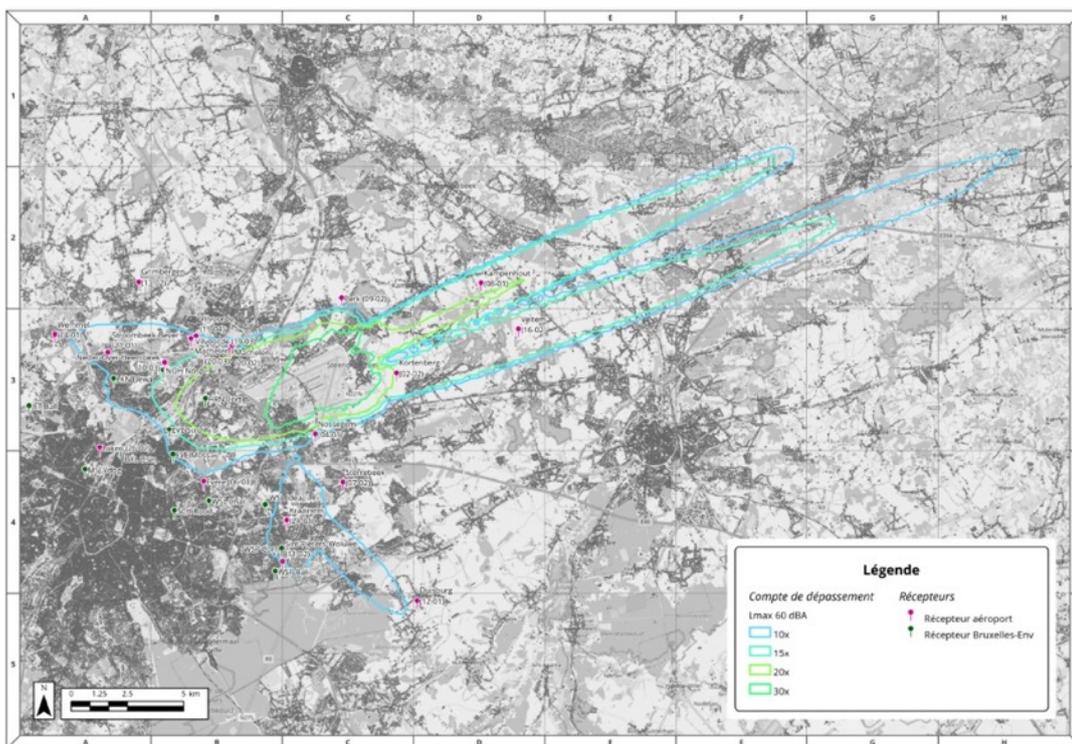


Figure 57 : Base 2019, métrique N60 night

Population exposée pour la métrique N60 night

Contour N60 night	Aire du contour (km ²)	Population exposée*
10x	173,3	185 330
15x	106,9	73 326
20x	38,0	37 607
30x	13,5	12 088
10x à 15x	66,5	112 003
15x à 20x	68,9	35 719
20x à 30x	24,5	25 519
≥30x	13,5	12 088

Tableau 42 : Base 2019, métrique N60 night, base 2019

*Population exposée : La population des secteurs traversés par le contour est calculée proportionnellement à la surface du secteur à l'intérieur du contour

7.1.5 Nombre d'évènements moyen par jour au-dessus de 70 dB, jour et soir, 2019

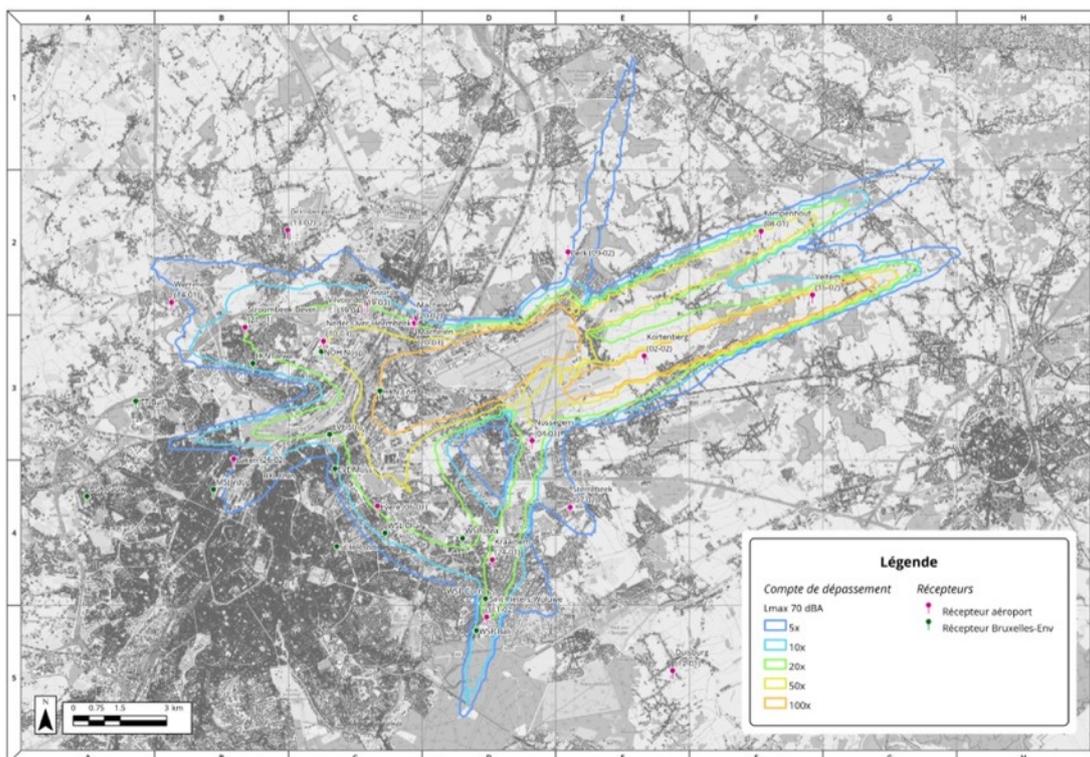


Figure 58 : Base 2019, métrique N70 day+evening

Population exposée pour la métrique N70 day+evening

Contour N70 d-e	Aire du contour (km ²)	Population exposée*
5x	144,6	292 850
10x	103,7	176 979
20x	75,0	89 529
50x	40,3	28 926
100x	21,2	16 191
5x à 10x	40,9	115 871
10x à 20x	28,7	87 451
20x à 50x	34,7	60 603
50x à 100x	19,1	12 735
≥100	21,2	16 191

Tableau 43 : Population exposée pour la métrique N70 day+evening, base 2019

*Population exposée : La population des secteurs traversés par le contour est calculée proportionnellement à la surface du secteur à l'intérieur du contour

7.1.6 Nombre d'événements moyen par jour au-dessus de 70 dB, nuit, 2019

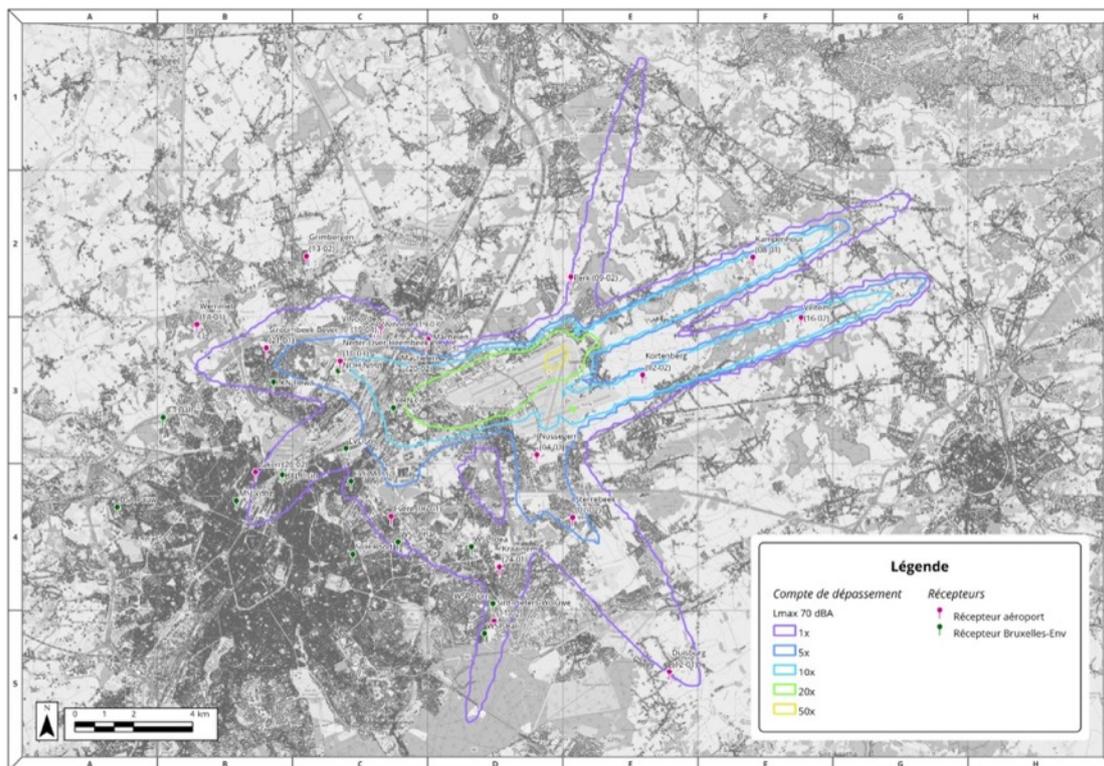


Figure 59 : Base 2019, métrique N70 night

Population exposée pour la métrique N70 night

Contour N70 night	Aire du contour (km ²)	Population exposée*
1x	145,8	267 543
5x	61,1	50 170
10x	37,1	24 876
20x	10,7	7 899
50x	0,4	0
1x à 5x	84,7	217 373
5x à 10x	23,9	25 294
10x à 20x	26,5	16 977
20x à 50x	10,3	7 899
≥50	0,4	0

Tableau 44 : Population exposée pour la métrique N70 night, base 2019

*Population exposée : La population des secteurs traversés par le contour est calculée proportionnellement à la surface du secteur à l'intérieur du contour

Pour chaque scénario, nous avons modélisé les contours pour les métriques Lden, Lnight et N70 night. Nous allons également comparer pour chacun de ces scénarios, un niveau de chaque métrique avec le niveau de la base (le scénario 0). Par exemple pour Lden, le niveau 55 dB du scénario sera comparé avec le niveau 55 dB de la base 2019. Pour la métrique Lnight, le contour 45 dB sera comparé avec celui de la base. Enfin, pour la métrique N70 night, le niveau 1x (1 évènement) du scénario sera comparé avec le niveau 1x de la base. Cela permet de voir plus facilement si ces contours de référence se sont rétrécis ou agrandis.

Nous rappelons que les conclusions relatives à un examen des solutions alternatives concernant l'adaptation des normes de vent se trouvent à la section [4.2 Réponse à une éventuelle évolution des normes de vent](#).

7.2 Scénario 1a1 : Les départs depuis la piste 25R avec virage gauche sont déplacés sur la piste 25L, à hauteur de 50% et 100%, avec un virage à 1700 ft

7.2.1 Remarques qui ont mené à ce scénario

Dans l'ANNEXE AU COURRIER DU 15 FEVRIER 2021 du Ministre de la mobilité, référencé GG/TB/MD/Che-OUT-2160/2021, il est demandé : « *Pouvez-vous objectiver les conséquences positives en termes de réduction de bruit que pourraient engendrer les investissements suivants à l'aéroport de Bruxelles-National : ... La mise en place d'un taxiway permettant aux départs de rejoindre le seuil de la piste 25L ;* ».

Nous comprenons qu'il est demandé d'utiliser la piste 25L pour les départs à partir du seuil de piste pour voir dans quelle mesure le bruit pourrait être réduit, car cette piste n'est pas utilisée pour les départs, mais il n'y a pas de précision concernant les directions des départs ni quelle proportion.

Le gouvernement de la Région de Bruxelles-Capitale demande également, dans sa lettre du 11 février 2021, que soient étudiées des mesures de modification de l'infrastructure, dont « *l'allongement des taxiways (piste 25L notamment)* ».

7.2.2 Commentaires et faisabilité du scénario

La piste 25L est surtout utilisée pour les arrivées (53% des arrivées en 2019, contre 30% pour la piste 25R). En 2019, moins de 0,1 % des départs ont eu lieu sur cette piste, alors que la piste 25R en comptait 82%. L'hypothèse est faite qu'une répartition des départs entre ces deux pistes permettrait également une meilleure répartition du bruit.

Une des raisons pour lesquelles la piste 25L n'est pas plus utilisée pour les départs est due au taxiway le long de cette piste, qui ne rejoint pas le bout de piste :



Figure 60 : Seuil de piste 25L et taxiway

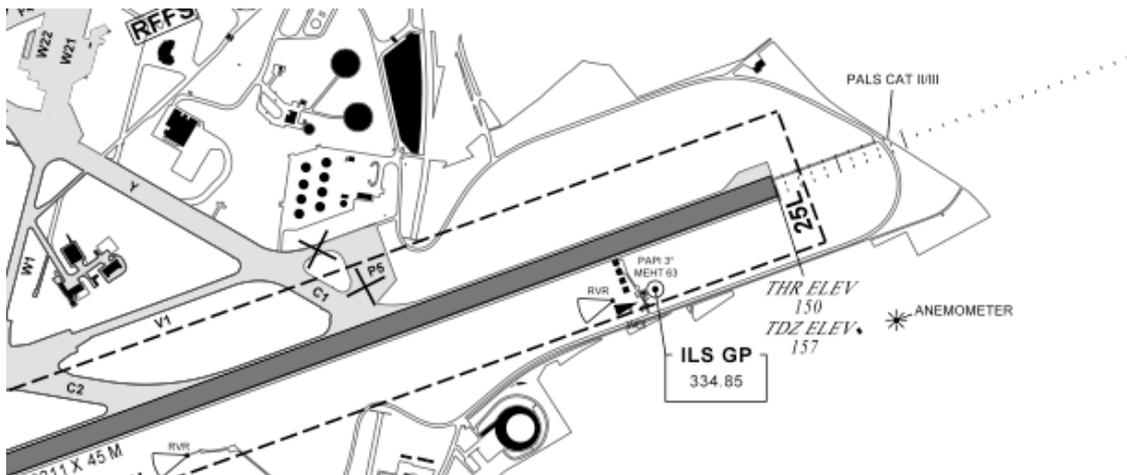


Figure 61 : Schéma de la piste 25L, adaptée pour les arrivées, extrait de l’AIP belge

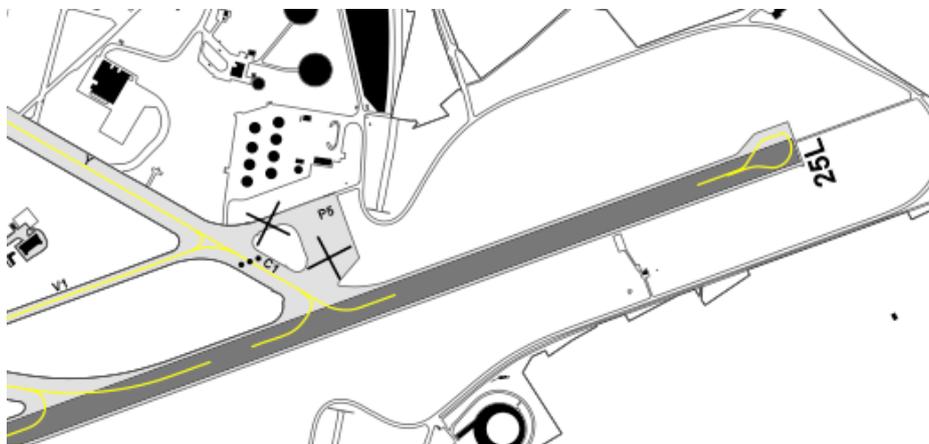


Figure 62 : Schéma de la piste 25L avec traces des avions en jaune, extrait de l’AIP belge

Dans la situation actuelle, un avion qui décolle de la piste 25L doit entrer sur la piste par le taxiway C1, loin du seuil de piste, situé à 900 mètres. La piste mesurant 3210 mètres, c’est presque un tiers de la piste et les pilotes doivent “remonter” la piste pour rejoindre le seuil de piste. Ceci a plusieurs inconvénients : lorsque l’avion remonte ces 900 mètres, à la même vitesse que sur le taxiway, la piste est considérée comme occupée et aucune autre opération ne peut avoir lieu. L’avion doit ensuite faire demi-tour en utilisant l’aire de “turn-around” au bout de la piste. Toutes ces procédures requièrent aussi du temps et ne permettent pas un usage efficace de la piste pour les départs. Ainsi, il peut être pertinent de prolonger le taxiway (d’une distance de 900 m) afin de rejoindre le seuil de piste pour un départ.

En regardant les backbone tracks, qui représentent les trajectoires centrales, pour chaque direction au départ de la piste 25R ci-dessous (et avec le contour Lden 55 dB obtenu avec toutes les backbone tracks et les subtracks), nous pouvons voir que 5 d’entre elles virent à droite, une suit l’axe de la piste 25R (route du Canal) et une vire à gauche (les trajectoires avec « virage gauche »).

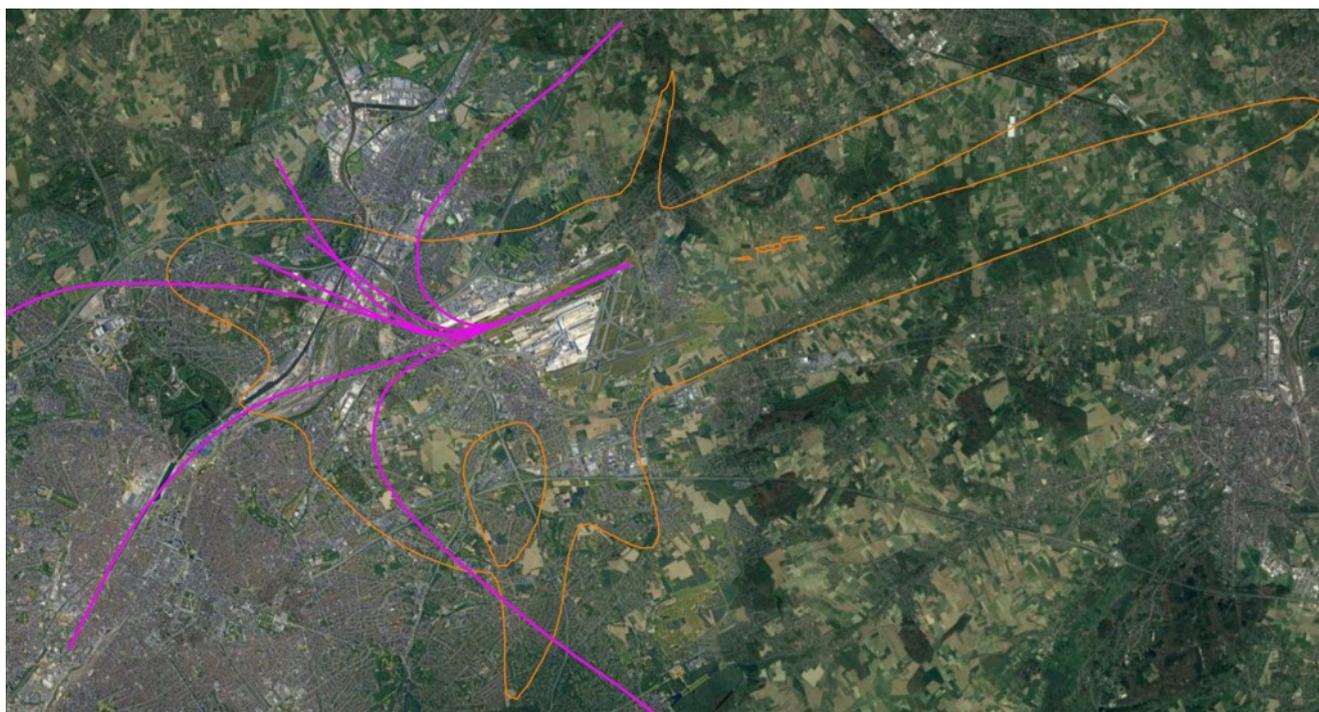


Figure 63 : Backbone tracks obtenues pour les départs sur la piste 25R et contour Lden 55 dB

Nous pensons, à première vue, que déplacer seulement les départs avec virage gauche en direction du Sud-Est sur la piste 25L pourrait avoir un impact positif sur la diminution du bruit aux abords de la ville car le virage gauche aurait lieu plus au Sud (voire Sud - Sud-Est), alors que dans les autres cas, les avions devraient rejoindre les routes existantes avec un allongement du trajet à l'Ouest de l'aéroport. Nous pensons aussi que cet impact serait significatif car nous avons calculé que les départs avec virages gauches représentaient 46,3% des départs sur la piste 25R en 2019, et 38,4% de tous les départs en 2019. L'inconvénient serait que les communes au Sud de l'aéroport seraient survolées à une altitude plus basse. Enfin, nous voulons surtout éviter les croisements de trajectoires : des trajectoires au départ de la piste 25L vers le Nord ou Nord-Ouest croiseraient des trajectoires avec virage gauche au départ de la piste 25R.

Il est important de noter qu'il n'y a normalement pas de départs de la piste 25R avec virage gauche pendant la nuit, selon la période de nuit de l'aéroport (de 22h à 6h). Or les métriques d'exposition considèrent pour la nuit, la période de 23h à 7h du matin, donc les départs avec virage gauche de 6h à 7h sont comptabilisés dans les cartes avec les contours de bruit pour la métrique Lnight.

7.2.3 Explication du scénario modélisé

Nous avons donc choisi de modéliser le cas où les départs de la piste 25R en direction du Sud-Est seraient déplacés sur la piste 25L, dans un premier temps à hauteur de 50%, et dans un deuxième temps à 100%.

Etant donné le très faible nombre de départs avec virage gauche depuis la piste 25L en 2019 (44, voir la capture ci-dessous), nous n'avions dans un premier temps pas pu générer de backbone tracks. La plupart de ces départs utilisaient la procédure SOPOK8C avec un virage à 1700ft, une dizaine avait la procédure SPI avec un virage à 700ft mais on peut voir en regardant les traces radar que ces derniers tournaient plus tard.

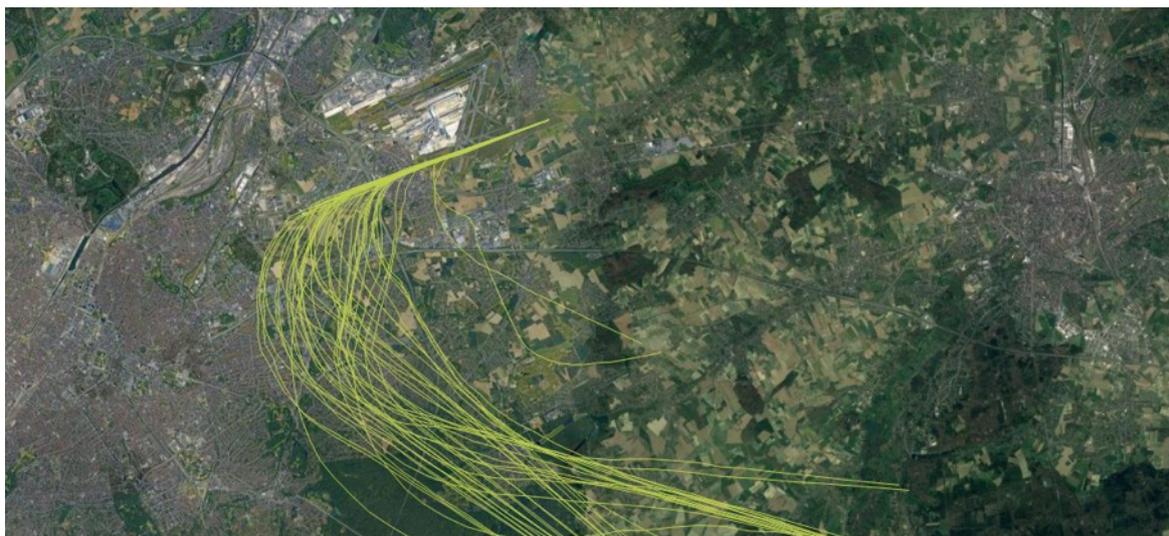


Figure 64 : Traces radar pour les départs de la piste 25L en 2019

Nous avons donc conservé les trajectoires avec le virage gauche au départ de la piste 25R, avec un virage à 1700ft, que nous avons déplacé sur la piste 25L (trajectoires en jaune ci-dessous), et pour lesquels nous avons associé 50% puis 100% des départs avec virage gauche.

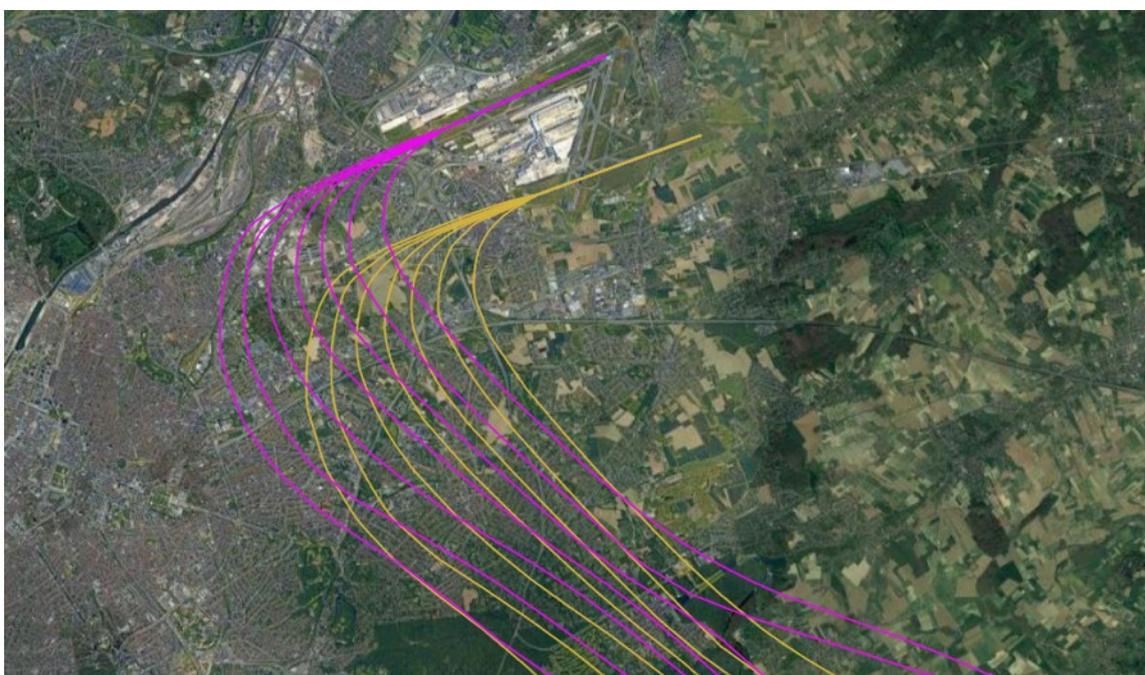


Figure 65 : Backbone tracks et subtracks de la piste 25R déplacées sur la 25L

Dans un deuxième temps nous avons pu générer la backbone track et les subtracks pour le faible nombre de départs réels de la piste 25L (en rouge ci-dessous), mais celles-ci étaient distordues. Cependant, elles se

superposent aux trajectoires déplacées de la 25R, ce qui veut dire que les trajectoires déplacées (en jaune) ont leur virage à l'altitude correcte et sont utilisables.



Figure 66 : Backbone track et subtracks déplacées (en jaune) vs celles obtenues à partir des données radar des départs sur la piste 25L en 2019 (en rouge)

Nous avons donc conservé la backbone track et les subtracks de la piste 25R déplacées sur la piste 25L pour modéliser ce scénario.

7.2.4 Résultats de la modélisation

Pour le cas avec 50% des départs décalés :

7.2.4.1 Contours Lden du scénario 1a1.50

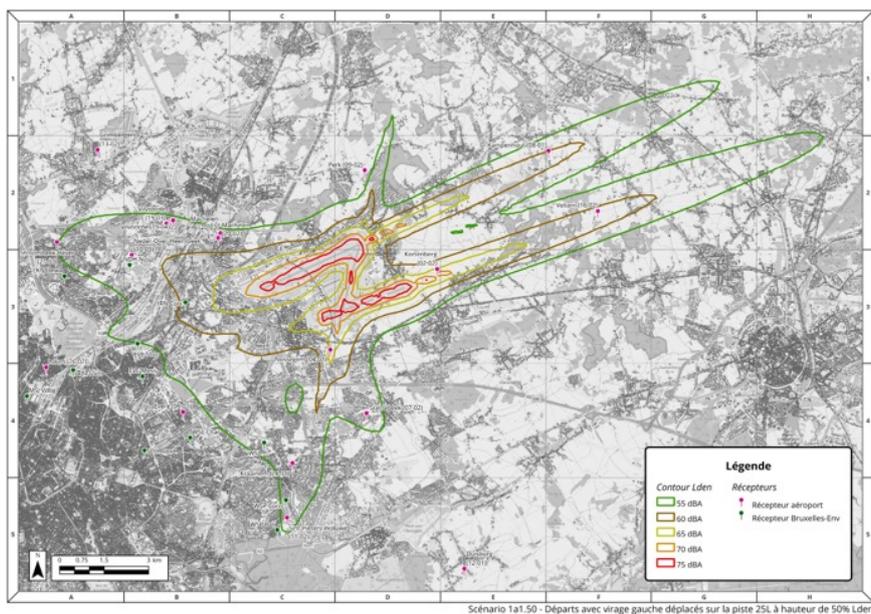


Figure 67 : Scénario 1a1.50, Lden

7.2.4.2 Comparaison du contour Lden 55 dB du scénario 1a1.50 avec la base

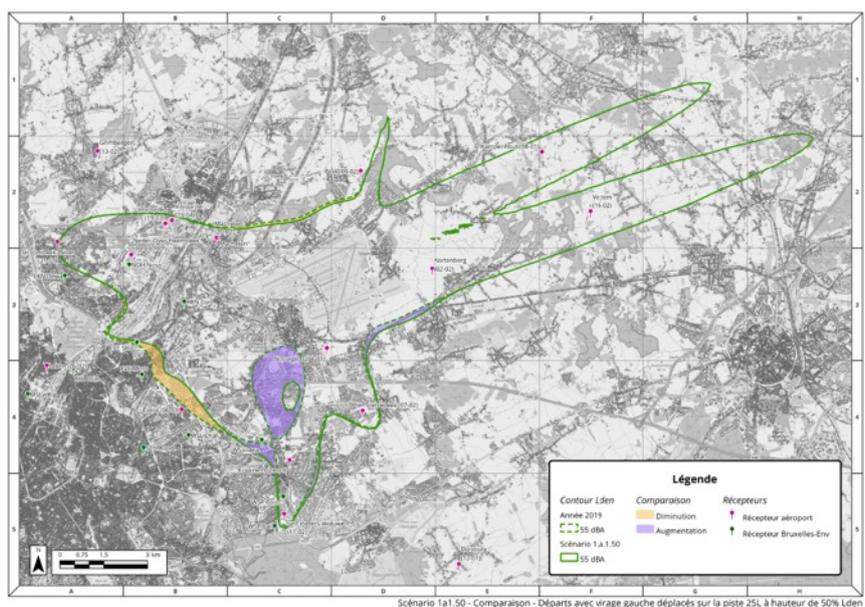


Figure 68: Différence Scénario 1a1.50 Lden par rapport au contour Lden 55 dB de la base

7.2.4.3 Contours Lnight du scénario 1a1.50

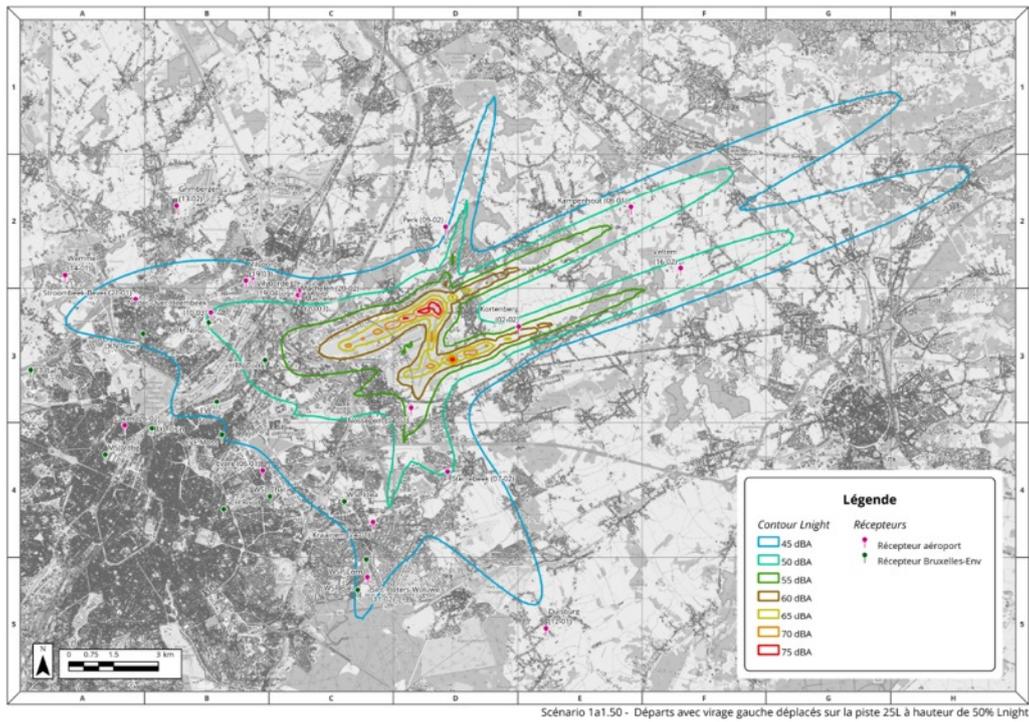


Figure 69 : Scénario 1a1.50, Lnight

7.2.4.4 Comparaison du contour Lnight 45 dB du scénario 1a1.50 avec la base

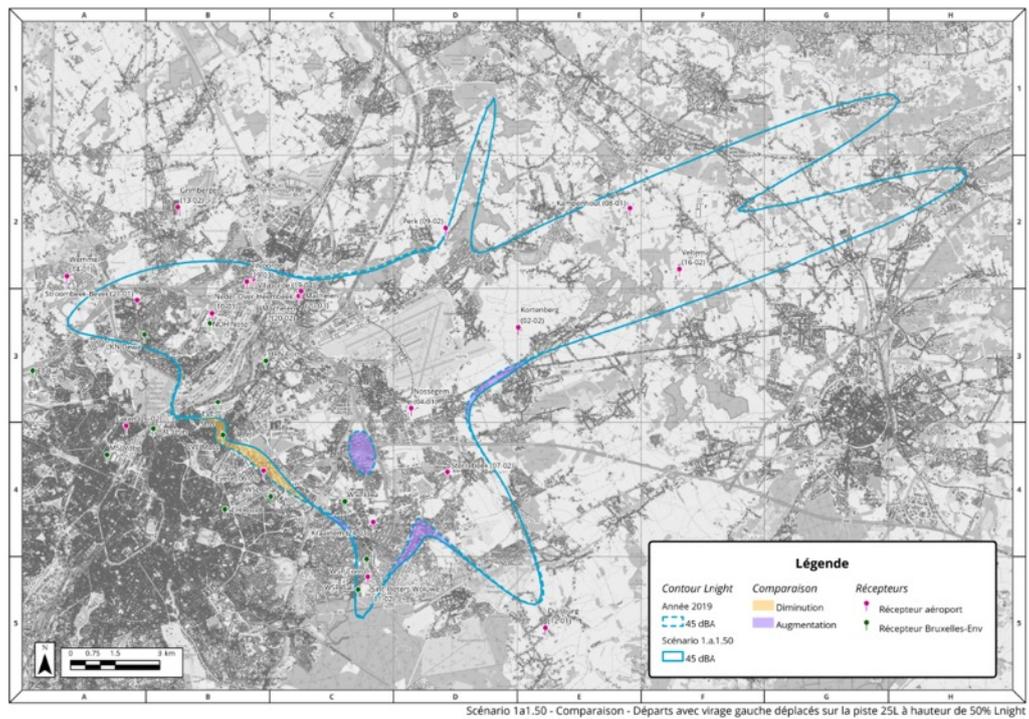


Figure 70 : Différence Scénario 1a1.50 Lnight par rapport au contour Lnight 45 dB de la base

7.2.4.5 Contours N70 night du scénario 1a1.50

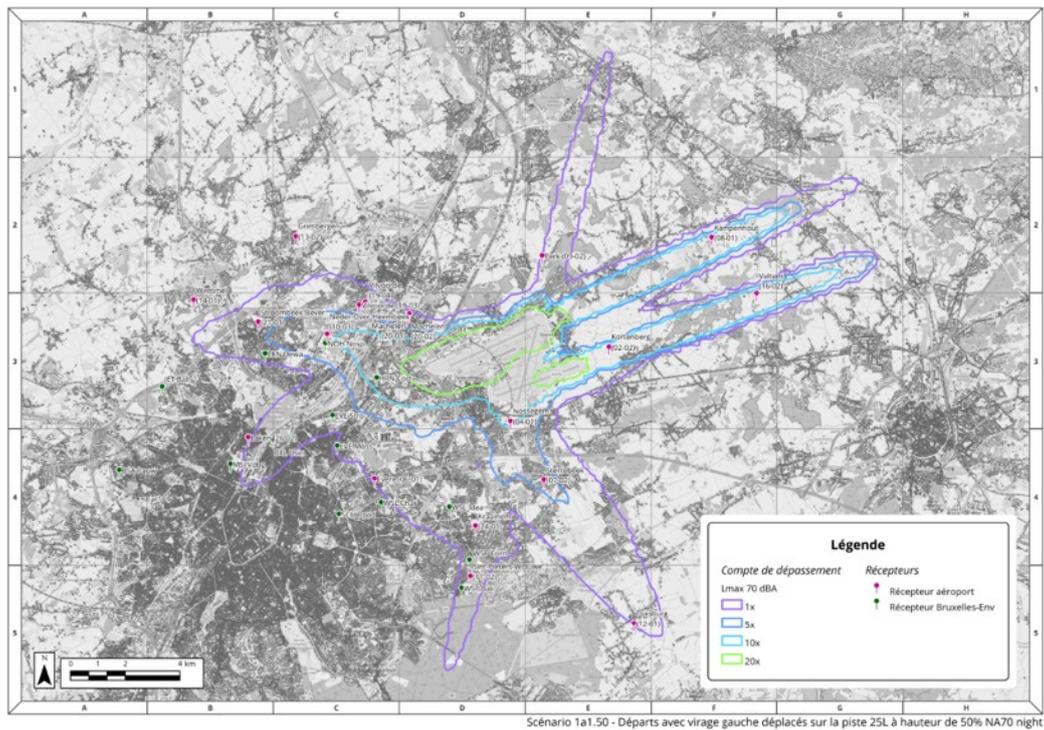


Figure 71 : Scénario 1a1.50, N70 night

7.2.4.6 Comparaison du contour N70 night 1 évènement du scénario 1a1.50 avec la base

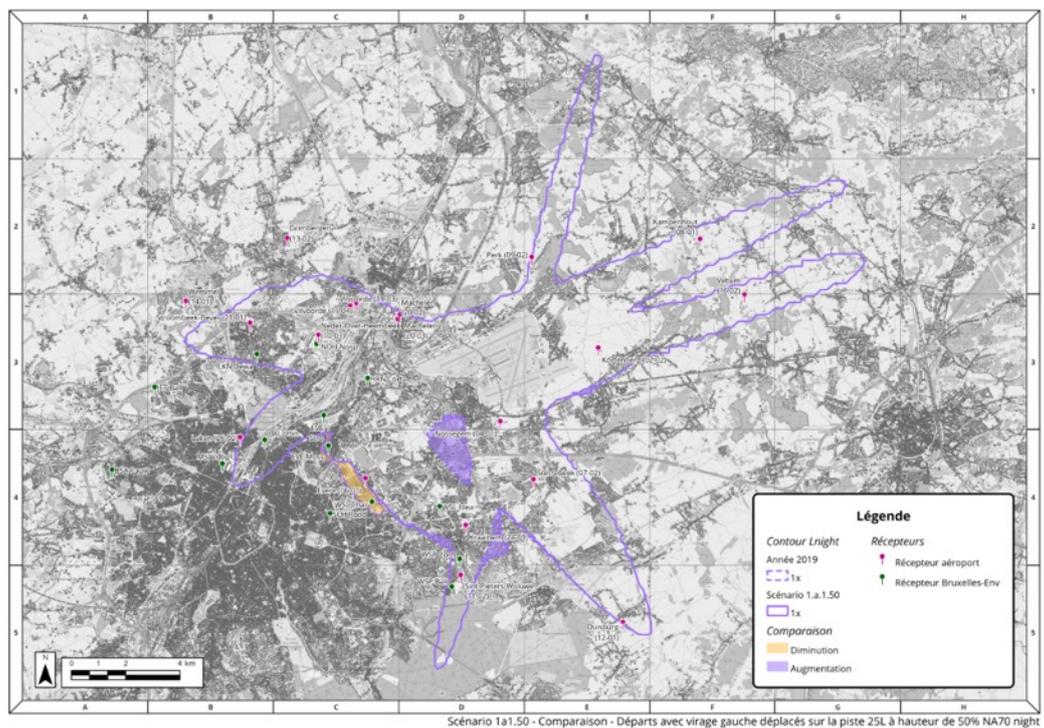


Figure 72 : Différence Scénario 1a1.50 N70 night par rapport au contour N70 night 1x de la base

Pour le cas avec 100% des départs déplacés :

7.2.4.7 Contours Lden du scénario 1a1.100

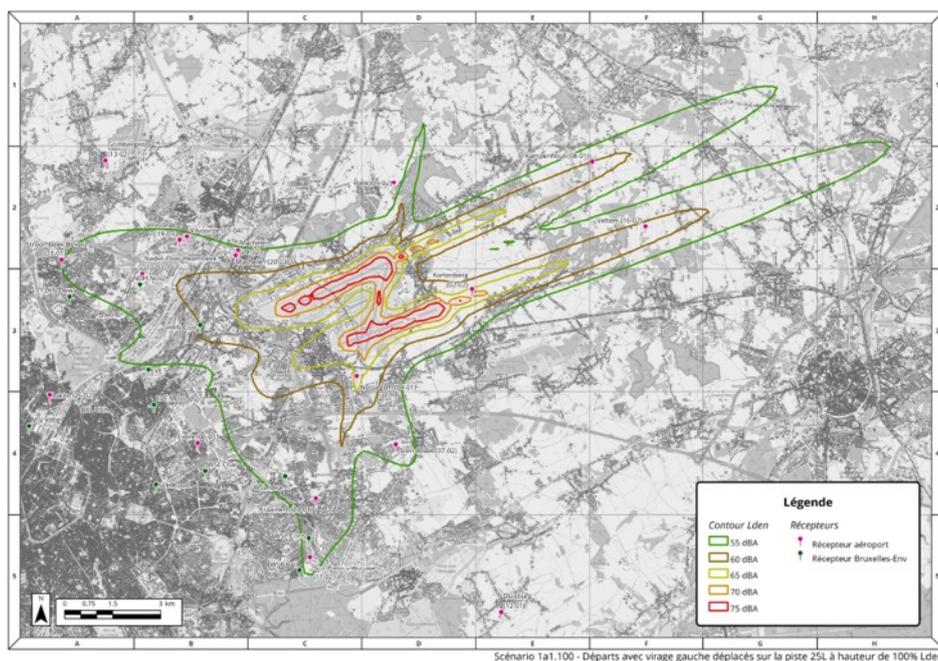


Figure 73 : Scénario 1a1.100%, Lden

7.2.4.8 Comparaison du contour Lden 55 dB du scénario 1a1.100 avec la base

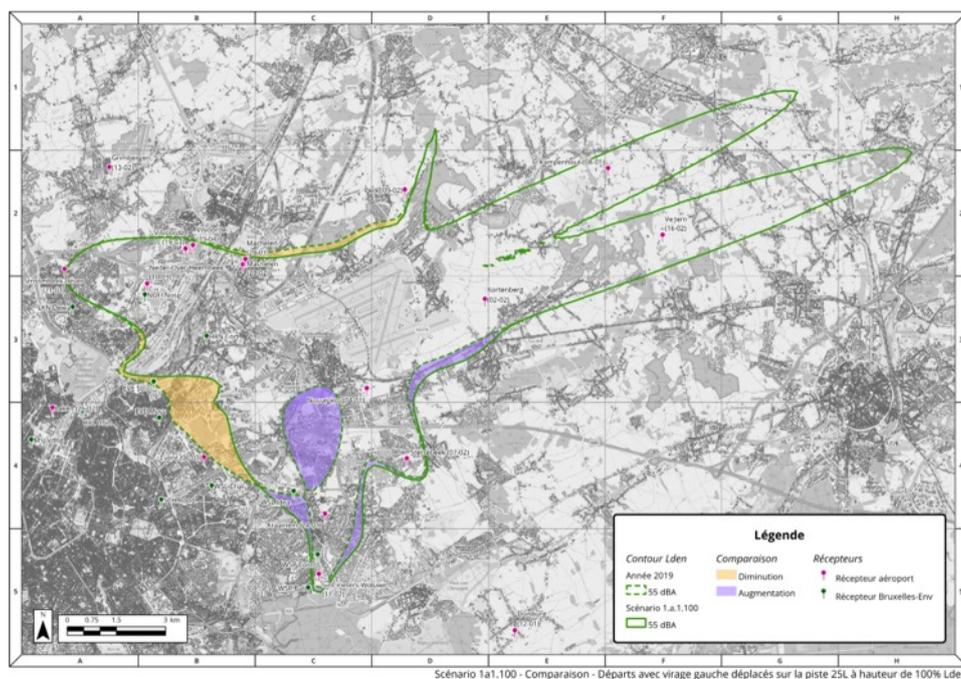


Figure 74 : Différence Scénario 1a1.100 Lden par rapport au contour Lden 55 dB de la base

7.2.4.9 Contours Lnight du scénario 1a1.100

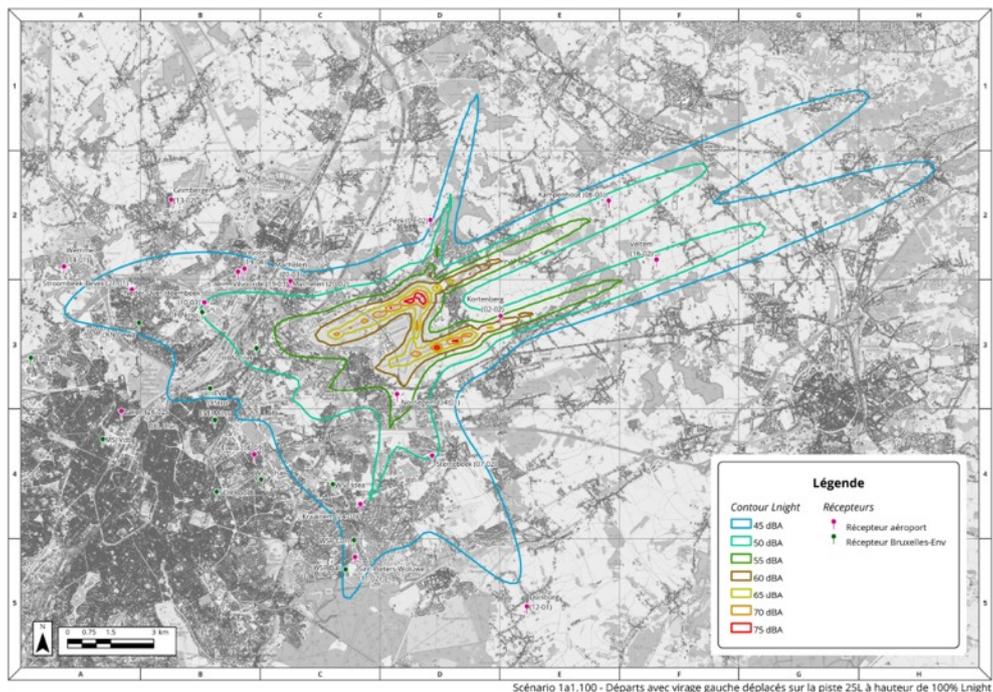


Figure 75 : Scénario 1a1.100, Lnight

7.2.4.10 Comparaison du contour Lnight 45 dB du scénario 1a1.100 avec la base

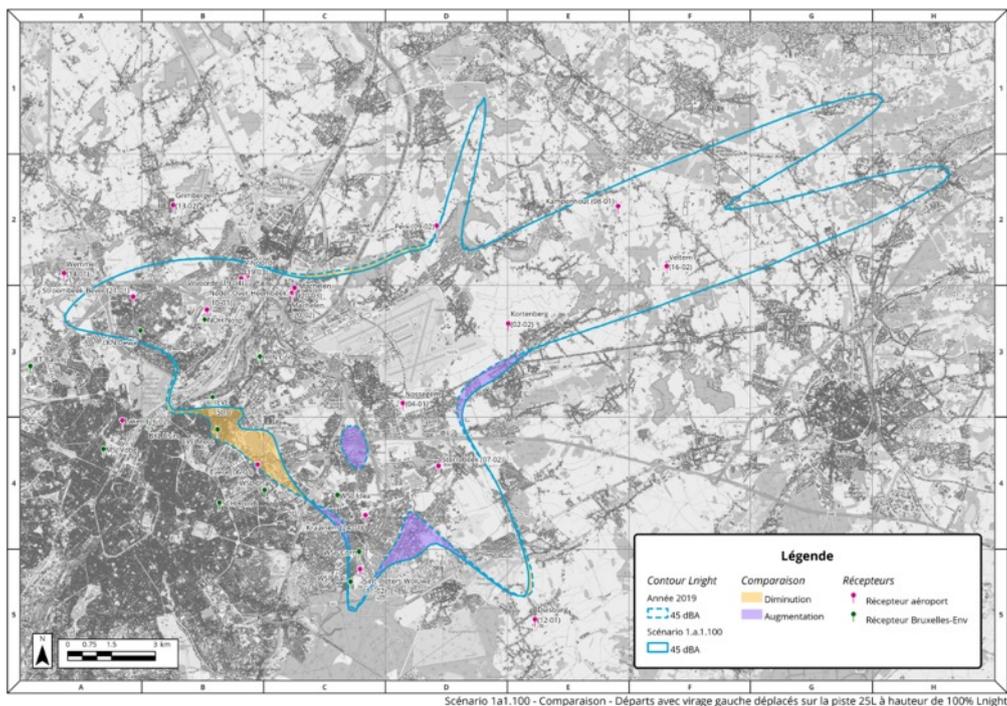


Figure 76 : Différence Scénario 1a1.100 Lnight par rapport au contour Lnight 45 dB de la base

7.2.4.11 Contours N70 night du scénario 1a1.100

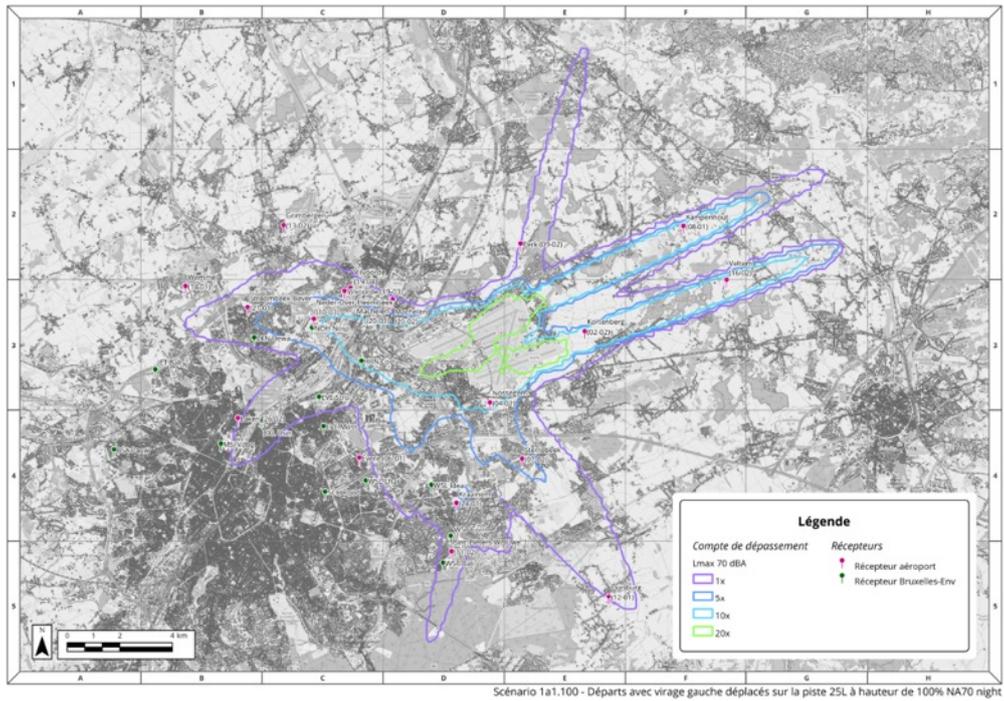


Figure 77 : Scénario 1a1.100, N70 night

7.2.4.12 Comparaison du contour N70 night 1 événement du scénario 1a1.100 avec la base

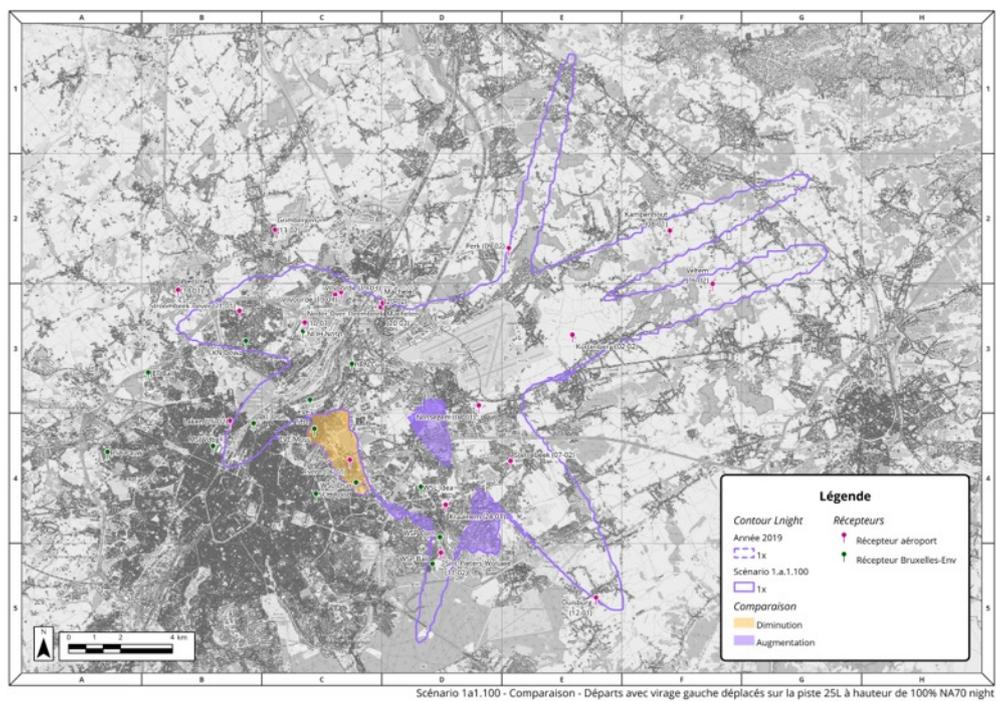


Figure 78 : Différence Scénario 1a1.100 N70 night par rapport au contour N70 night 1x de la base

7.2.5 Analyse des résultats

Scénario 1a1, 50% des départs avec virage gauche déplacés Impacts environnementaux par rapport à la base 2019					
Métriques d'exposition au bruit					
Métriques		Aire exposée		Population exposée	
Métrique	Niveau de bruit (dBA)	Aire (km ²)	Changement(%)	Population	Changement(%)
Lden	55	110.9	+3.0%	121 926	-0.5%
Lnight	45	161.7	+0.4%	205 288	-4.9%
Nombre d'évènements moyen par jour au-dessus d'un niveau L _{Amax}					
Métriques		Aire exposée		Population exposée	
		Aire (km ²)	Changement(%)	Population	Changement(%)
N60 Day + Evening (50x)		211	+1.9%	295 227	-7.9%
N70 Day + Evening (5x)		148.6	+2.3%	296 324	+1.2%
N60 Night (10x)		176.7	+1.9%	179 934	-2.9%
N70 Night (1x)		148.2	+1.6%	295 341	-3.1%
Estimation de la population fortement gênée					
Métriques		Population impactée			
		Population		Changement (%)	
HA (L _{den} 55 dBA)		32 596		-0.5%	
HSD (L _{night} 45 dBA)		30 928		-4.9%	
Facteurs qualitatifs					
Prévisibilité (changement plus ou moins prévisible)	Identique				
Concentration des vols	Moins concentrée				
Nouvelles populations exposées au bruit	Non mais les communes au sud de l'aéroport sont exposées à des niveaux de bruit légèrement plus forts				
Consommation de carburant/émissions par rapport à la base	Très petite réduction				
Impacts opérationnels					
Capacité des pistes	Améliorée				
Capacité du système ATC	Améliorée				
Complexité du système ATC (et charge de travail)	Réduite				
Impact économique sur les compagnies	Aucun				
Impact sur les compagnies en termes de ressources	Aucun				
Complexité du pilotage	Identique				
Dépendance au type d'avion	Virage plus ou moins long selon le type d'avion				
Applicabilité					
Long-terme 10 à 20 ans, projet d'infrastructure					

Tableau 45 : Impacts du scénario 1a1.50

Avec 50% des départs avec virage gauche déplacés sur la piste 25L, la population exposée n'est pas vraiment réduite. Le coût des travaux pour une extension de taxiway est de l'ordre de 10 millions d'euros. Les bénéfices

sont donc limités et ne semblent pas à la hauteur de l'investissement. Un avantage est que les opérations sur chaque piste deviendraient indépendantes.

Scénario 1a1, 100% des départs avec virage gauche déplacés					
Impacts environnementaux par rapport à la base 2019					
Métriques d'exposition au bruit					
<i>Métriques</i>		<i>Aire exposée</i>		<i>Population exposée</i>	
<i>Métrique</i>	<i>Niveau de bruit (dBA)</i>	<i>Aire (km²)</i>	<i>Changement(%)</i>	<i>Population</i>	<i>Changement(%)</i>
Lden	55	109.5	+1.7%	120 033	-2.0%
Lnight	45	160.8	-0.1%	193 414	-10.4%
Nombre d'évènements moyen par jour au-dessus d'un niveau Lmax					
<i>Métriques</i>		<i>Aire exposée</i>		<i>Population exposée</i>	
		<i>Aire (km²)</i>	<i>Changement(%)</i>	<i>Population</i>	<i>Changement(%)</i>
N60 Day + Evening (50x)		210.8	+1.8%	266 178	-16.9%
N70 Day + Evening (5x)		147.9	+2.3%	274 698	-6.2%
N60 Night (10x)		178.9	+3.2%	176 481	-4.8%
N70 Night (1x)		147.9	+1.5%	246 529	-7.9%
Estimation de la population fortement gênée					
<i>Métriques</i>		<i>Population impactée</i>			
		<i>Population</i>		<i>Changement (%)</i>	
HA (Lden 55 dBA)		32 090		-2.0%	
HSD (Lnight 45 dBA)		29 138		-10.4%	
Facteurs qualitatifs					
Prévisibilité (changement plus ou moins prévisible)		Identique			
Concentration des vols		Moins concentrée			
Nouvelles populations exposées au bruit		Non mais les communes au sud de l'aéroport sont exposées à des niveaux de bruit légèrement plus forts			
Consommation de carburant/émissions par rapport à la base		Très petite réduction			
Impacts opérationnels					
Capacité des pistes		Améliorée			
Capacité du système ATC		Améliorée			
Complexité du système ATC (et charge de travail)		Très réduite			
Impact économique sur les compagnies		Aucun			
Impact sur les compagnies en termes de ressources		Aucun			
Complexité du pilotage		Identique			
Dépendance au type d'avion		Virage plus ou moins long selon le type d'avion			
Applicabilité					
Long-terme 10 à 20 ans, projet d'infrastructure					

Tableau 46 : Impacts du scénario 1a1.100

Avec 100% de départs déplacés les changements sont plus significatifs. L'indicateur Lden n'indique qu'une réduction très faible de la population exposée mais l'indicateur N60 day-evening montre que les survols toucheraient 17% de personnes en moins au total. Cependant les communes au sud de l'aéroport seraient exposés à des niveaux de bruit légèrement plus forts car les avions seraient à une altitude un peu plus basse après le virage gauche que s'ils décollaient de la piste 25R. Dans les 2 cas, la capacité des pistes serait améliorée et la charge de travail de l'ATC serait réduite. En effet l'ensemble des départs virage gauche seraient effectués depuis la piste 25L, donc les pistes 25R et 25L deviendraient complètement indépendantes et les deux contrôleurs en charge respectivement d'une des deux pistes n'ont plus à se soucier de l'autre piste.

7.3 Scénario 1a2 : Les départs depuis la piste 25R avec virage gauche sont déplacés sur la piste 25L, à hauteur de 50% et 100%, avec un virage à 700 ft

7.3.1 Remarques qui ont mené à ce scénario

Dans l'ANNEXE AU COURRIER DU 15 FEVRIER 2021 du Ministre de la mobilité, référencé GG/TB/MD/Che-OUT-2160/2021, il est demandé : « *Pouvez-vous objectiver les conséquences positives en termes de réduction de bruit que pourraient engendrer les investissements suivants à l'aéroport de Bruxelles-National : ... La mise en place d'un taxiway permettant aux départs de rejoindre le seuil de la piste 25L ;* »

Nous comprenons qu'il est demandé d'utiliser la piste 25L pour les départs à partir du seuil de piste pour voir dans quelle mesure le bruit pourrait être réduit, mais il n'y a pas de précision concernant les directions des départs ni quelle proportion.

Le gouvernement de la Région de Bruxelles-Capitale demande également, dans sa lettre du 11 février 2021, que soient étudiées des mesures de modification de l'infrastructure, dont « l'allongement des taxiways (piste 25L notamment) ».

A la différence du scénario précédent où nous avons modélisé le virage à gauche à 1700 ft, nous avons ici modélisé le virage à gauche à un peu plus de 700 ft, car il existe des procédures spécifiques à la piste 25L pour lesquelles le virage à gauche se fait à 700 ft, comme indiqué dans l'AIP ci-dessous :

RWY 25L ONLY

Designator	Route		Remarks
	Lateral	Vertical	
LNO6Q	At 700 FT QNH LT to intercept R-286 LNO INBD to LNO.	Cross R-044 HUL at FL60 (FL70 when QNH is below 977 HPA) or above.	To be used by single, two- and three-engine aircraft. May be used by four-engine aircraft noise certificated according to <i>ICAO Annex 16, Chapter 3/FAR part 36 Stage 3</i> and whose performances permit to adhere to the SID. For TFC requesting a cruising or initial FL below FL195.
LNO 2E	RNAV1: [A700+; L] -> BR101 - BR103 [A6000+] - LNO	Cross BR103 at FL60 (FL70 when QNH is below 977 HPA) or above.	RNAV1 Overlay of LNO6Q To be used by single, two- and three-engine aircraft. May be used by four-engine aircraft noise certificated according to <i>ICAO Annex 16, Chapter 3/FAR Part 36 Stage 3</i> and whose performances permit to adhere to the SID. For TFC requesting a cruising or initial FL below FL195.
SPI6Q	At 700 FT QNH LT to intercept R-286 LNO INBD, intercept R-294 SPI INBD to SPI.	Cross R-044 HUL at FL60 (FL70 when QNH is below 977 HPA) or above.	To be used by single, two- and three-engine aircraft. May be used by four-engine aircraft noise certificated according to <i>ICAO Annex 16, Chapter 3/FAR Part 36 Stage 3</i> and whose performances permit to adhere to the SID.
SPI 2E	RNAV1: [A700+; L] - BR103 [T107; A6000+] - BR105 - SPI	Cross BR103 at FL60 (FL70 when QNH is below 977 HPA) or above.	RNAV1 Overlay of SPI6Q To be used by single, two- and three-engine aircraft. May be used by four-engine aircraft noise certificated according to <i>ICAO Annex 16, Chapter 3/FAR Part 36 Stage 3</i> and whose performances permit to adhere to the SID.
CIV 2Q	Climb straight ahead. At 7.0 DME BUB LT to TR 206° to intercept R-053 CIV INBD to CIV.		AVBL from 2200 to 0459 (2100 to 0359). H24 on SAT and SUN. ATC climb requirements: see § 3.2.2 below. M617 southbound, MAX FL170. Y50 southbound, MAX FL190, compulsory for TFC DEST Paris TMA. N872 southbound, only for TFC flight planned ABV FL195. Between 2200 and 0459, only to be used by aircraft with QC ≤ 4.

Figure 79 : Procédures de départ uniques à la piste 25L

7.3.2 Commentaires et faisabilité du scénario

Par rapport au scénario précédent, le virage gauche a lieu plus tôt (plus à l'Est), donc les communes au Sud de l'aéroport seraient moins survolées. En revanche l'altitude est plus basse. Nous rappelons également qu'une altitude de virage publiée n'est pas forcément une altitude réelle de virage. En effet, il s'agit d'une limite basse devant être comprise comme « à partir de 700 ft ». La phase de décollage étant un moment particulièrement chargé pour les équipages, il est tout à fait possible que le moment du virage soit retardé de quelques secondes, selon la charge de travail, et ait lieu au-dessus de 700 ft, tout en respectant parfaitement la procédure publiée. Ce facteur est difficilement modélisable, étant donné le caractère humain et relativement imprévisible d'une telle action. Ainsi, des turbulences, un message radio, un retard dans l'engagement d'automatismes ou de modes de suivi de trajectoire peuvent tout à fait amener le virage à être débuté non pas à 700 ft exactement, mais plus tard. Gardons ainsi à l'esprit que les résultats de la modélisation qui suit doivent être nuancés et atténués en conséquence.

On pourrait également imaginer un point de virage fixe si la procédure ne se basait pas sur l'altitude pour entamer le virage, qui aiderait à réduire la dispersion des trajectoires. Le premier point d'une procédure de départ est en général toujours un flyover. Il devra être survolé avant d'entamer le virage, mais il est impossible de s'assurer que tous les avions tourneront à ce point-là exactement. En effet le temps de mise en virage et le rayon associé diffèrent énormément selon le type d'appareil, sa vitesse initiale en montée, et les conditions météo du jour. Avec un fort vent de face, l'avion tournera beaucoup plus rapidement qu'avec un vent nul ou un léger vent arrière. La hauteur du virage sera également différente pour chaque vol : également selon le type d'appareil et les conditions météo du jour, chaque avion entamera ce premier virage à une hauteur par rapport au sol différente. Avant d'envisager cette option, des ingénieurs devront aussi étudier la procédure et la valider. Rien ne dit qu'ici, installer un tel point soit possible. Donc la dispersion serait probablement légèrement réduite, mais certainement pas de manière drastique.

7.3.3 Explication du scénario modélisé

Nous avons choisi de modéliser le cas où les départs de la piste 25R en direction du Sud-Est seraient déplacés sur la piste 25L avec un virage gauche à partir de 700 ft, dans un premier temps à hauteur de 50%, et dans un deuxième temps à 100%.

Pour créer ces nouvelles trajectoires, nous avons généré avec AEDT le profil vertical sur la backbone track pour l'opération la plus récurrente pour un départ avec virage gauche, c'est-à-dire pour le départ d'un A319 avec un stage length égal à 1.

Voici les points sur la backbone track pour lesquels l'altitude est 750 ft et 1750 ft (en rouge) :



Figure 80 : Backbone track et subtracks de la piste 25R avec les altitudes pour un virage à 1700 ft

Ensuite nous avons déplacé les backbone tracks et les subtracks de la piste 25R vers la piste 25L, puis nous avons raccourci les trajectoires de manière à ce que le virage commence à partir de 700 ft.

Voici les points sur la nouvelle backbone track (en vert) pour lesquels l'altitude est 700 ft et 1750 ft (en rouge) :



Figure 81 : Backbone track et subtracks déplacées sur la piste 25L avec les altitudes pour un virage à 700 ft

Nous avons associé 50% puis 100% des départs avec virage gauche sur ces nouvelles trajectoires.

7.3.4 Résultats de la modélisation

Pour le cas avec 50% des départs décalés :

7.3.4.1 Contours Lden du scénario 1a2.50

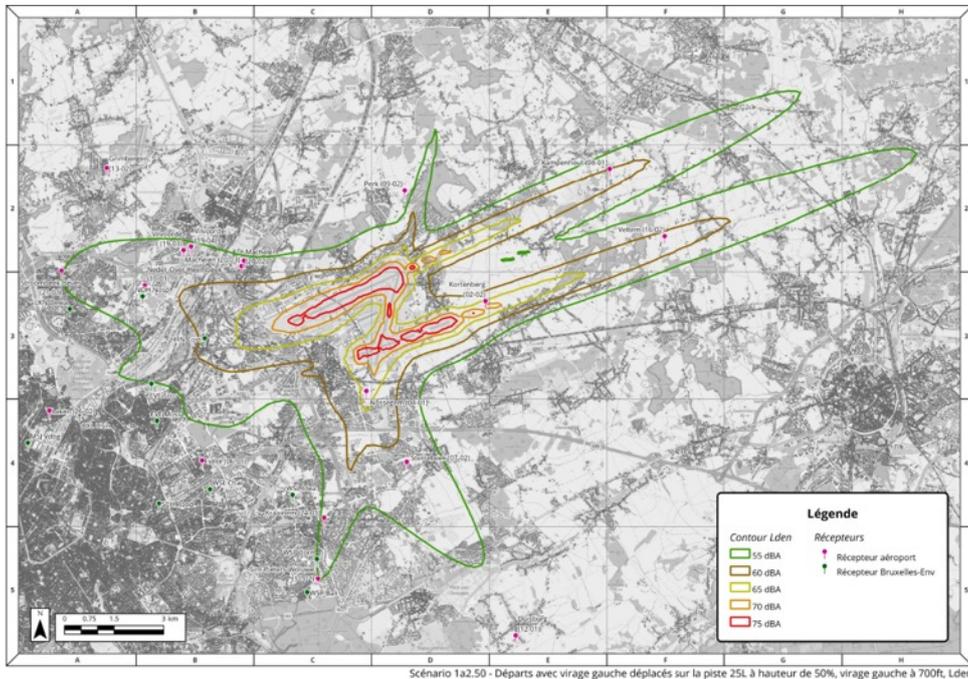


Figure 82 : Scénario 1a2.50, Lden

7.3.4.2 Comparaison du contour Lden 55 dB du scénario 1a2.50 avec la base

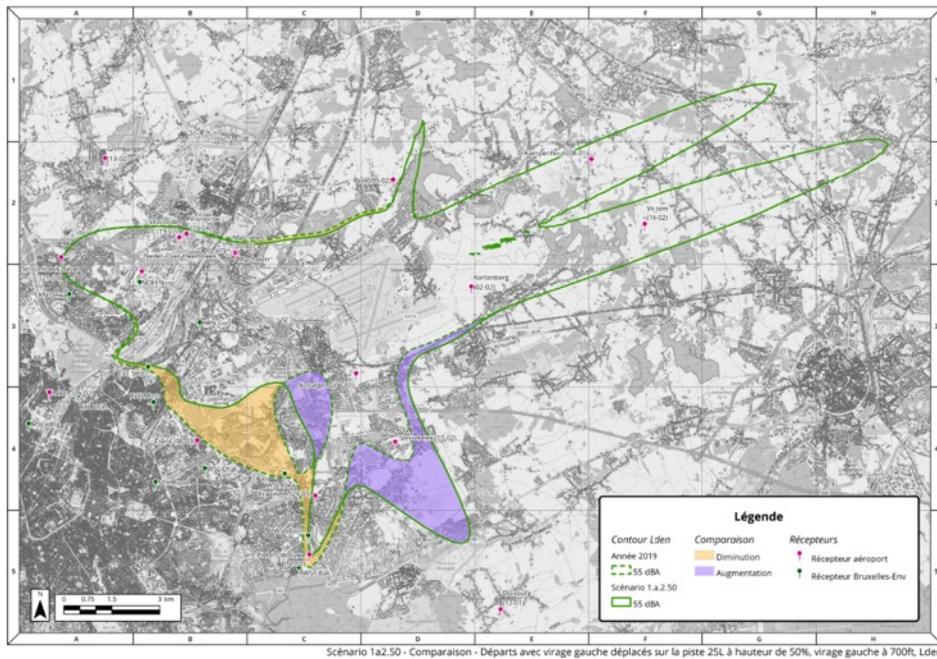


Figure 83 : Différence Scénario 1a2.50 Lden par rapport au contour Lden 55 dB de la base

7.3.4.3 Contours Nlight du scénario 1a2.50

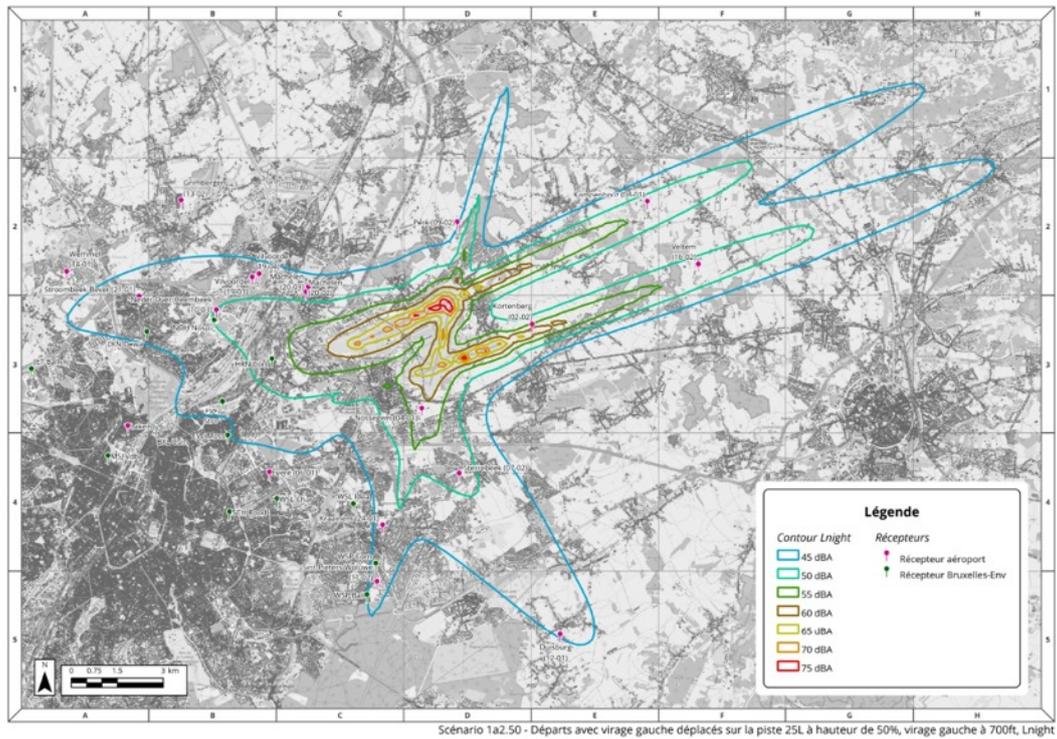


Figure 84 : Scénario 1a2.50, Nlight

7.3.4.4 Comparaison du contour Nlight 45 dB du scénario 1a2.50 avec la base

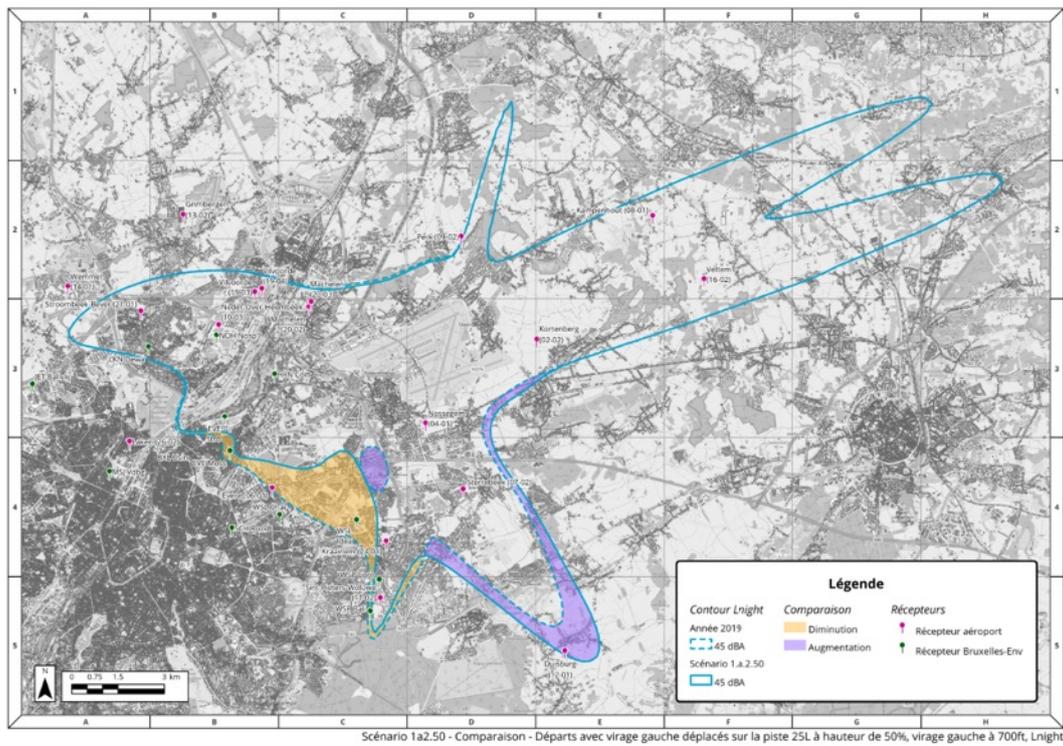


Figure 85 : Différence Scénario 1a2.50 Nlight par rapport au contour Nlight 45 dB de la base

7.3.4.5 Contours N70 night du scénario 1a2.50

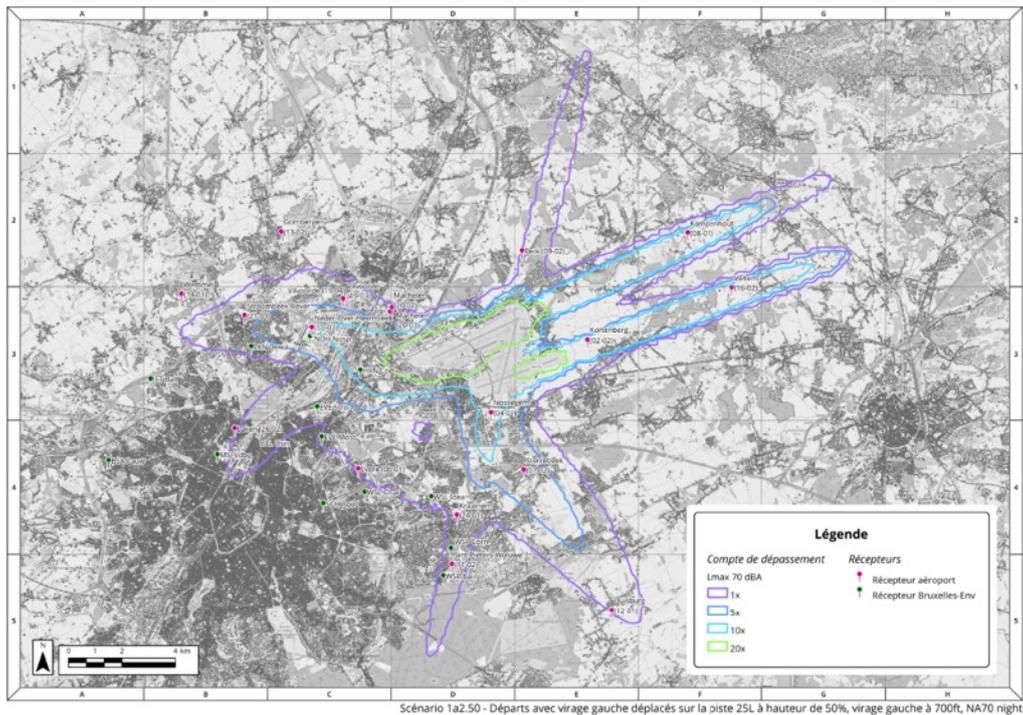


Figure 86 : Scénario 1a2.50, N70 night

7.3.4.6 Comparaison du contour N70 night 1 événement du scénario 1a2.50 avec la base

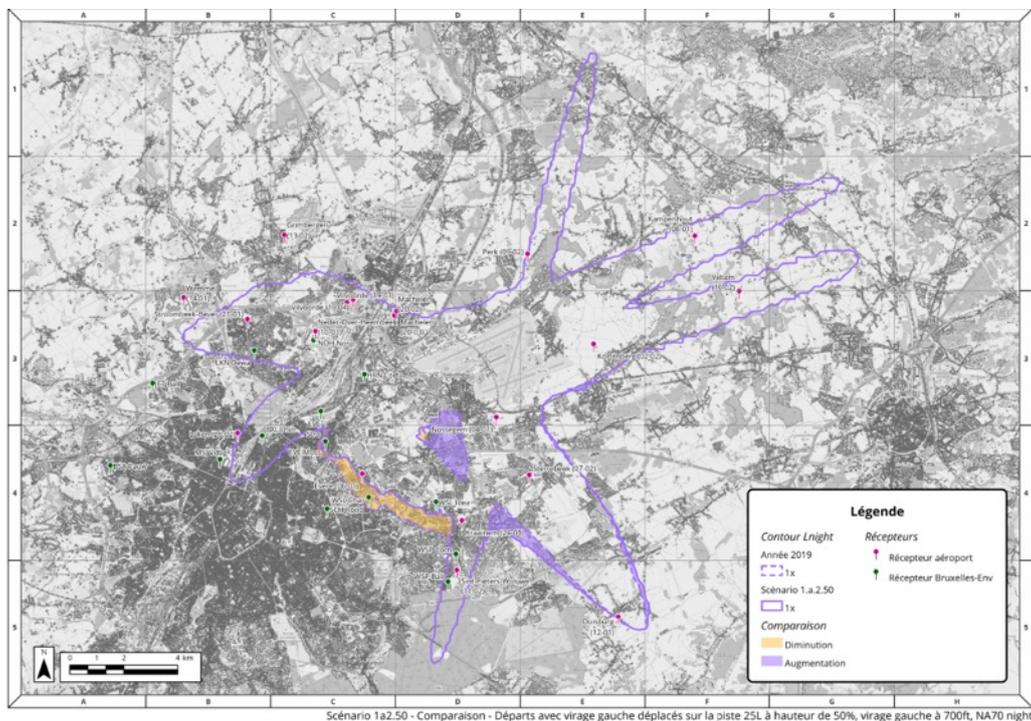


Figure 87 : Différence Scénario 1a2.50 N70 night par rapport au contour N70 night 1x de la base

Pour le cas avec 100% des départs déplacés :

7.3.4.7 Contours Lden du scénario 1a2.100

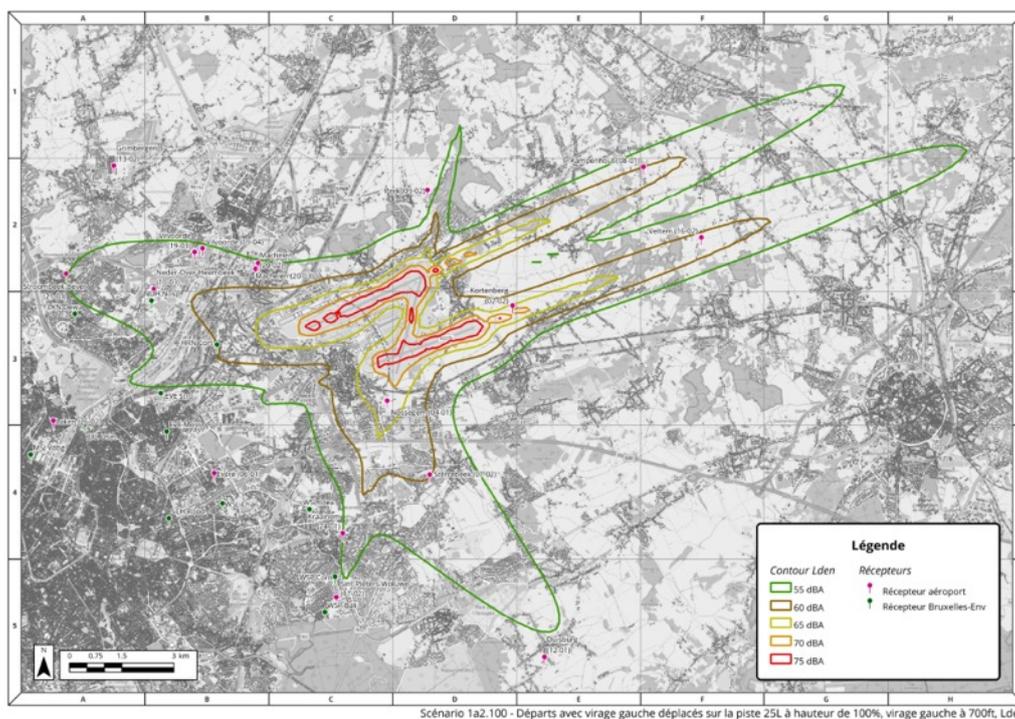


Figure 88 : Scénario 1a2.100, Lden

7.3.4.8 Comparaison du contour Lden 55 dB du scénario 1a2.100 avec la base

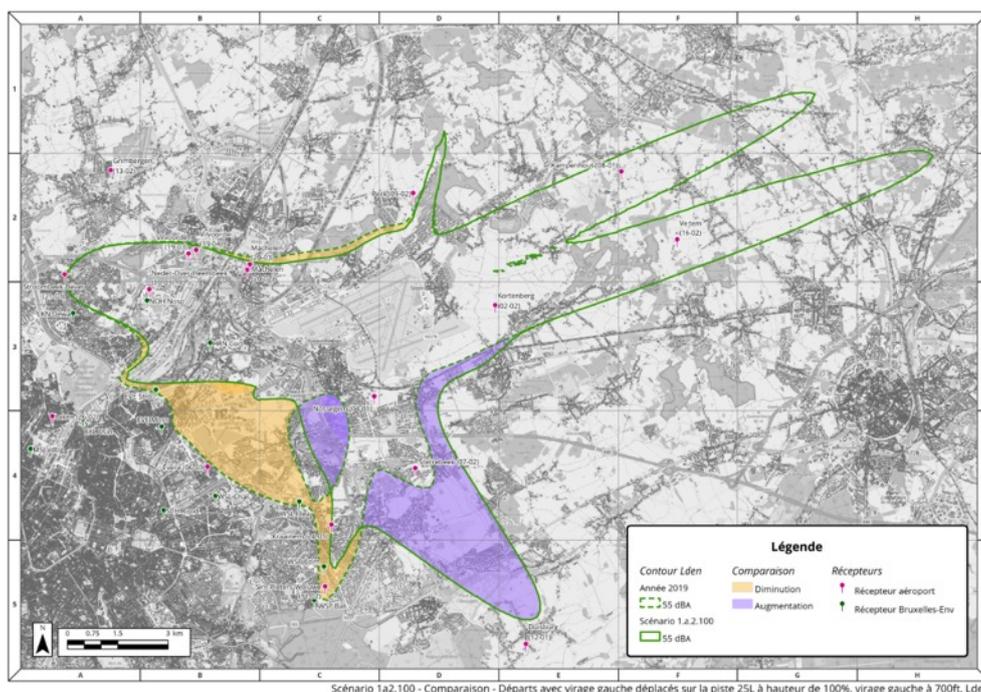


Figure 89 : Différence Scénario 1a2.100 Lden par rapport au sur le contour Lden 55 dB de la base

7.3.4.9 Contour Lnight du scénario 1a2.100

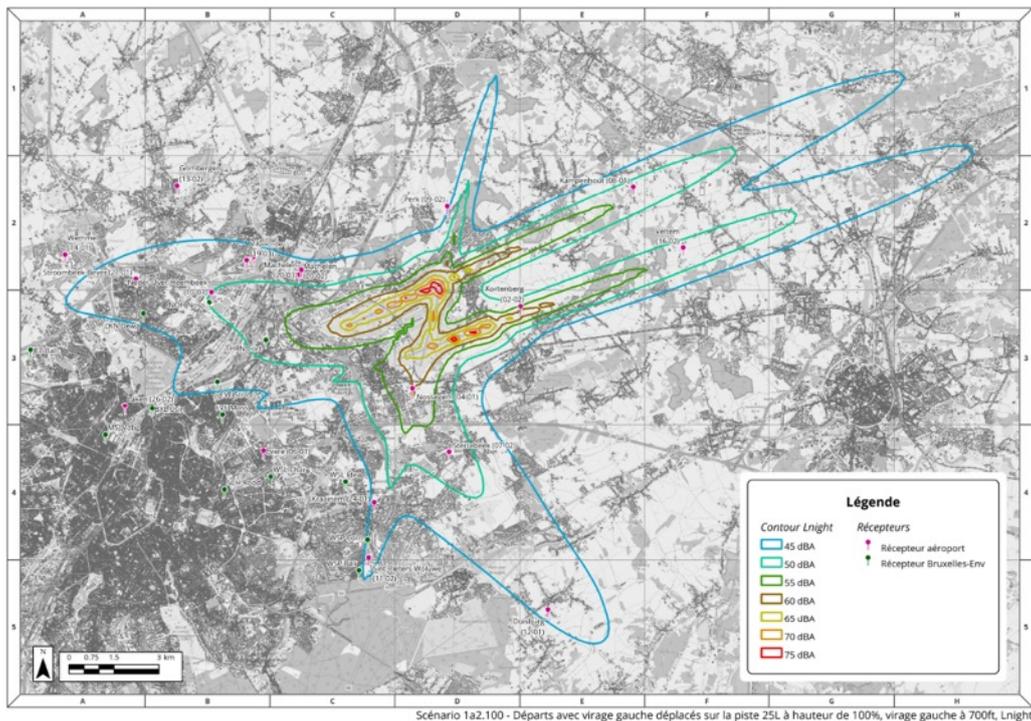


Figure 90 : Scénario 1a2.100, Lnight

7.3.4.10 Comparaison du contour Lnight 45 dB du scénario 1a2.100 avec la base

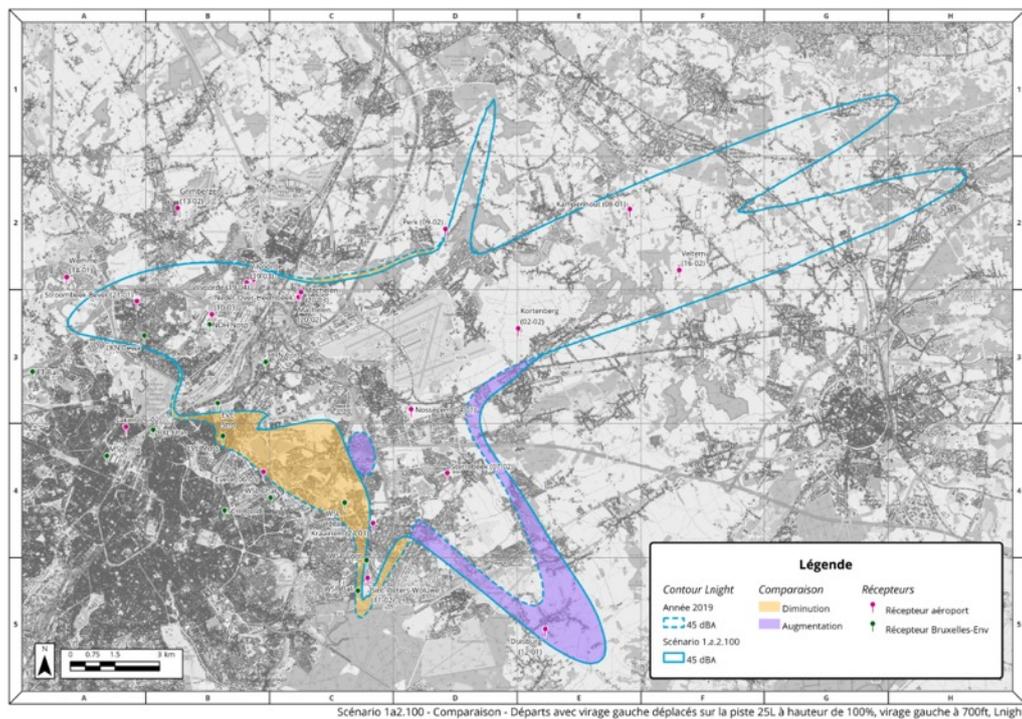


Figure 91 : Différence Scénario 1a2.100 Lnight par rapport au contour Lnight 45 dB de la base

7.3.4.11 Contours N70 night du scénario 1a2.100

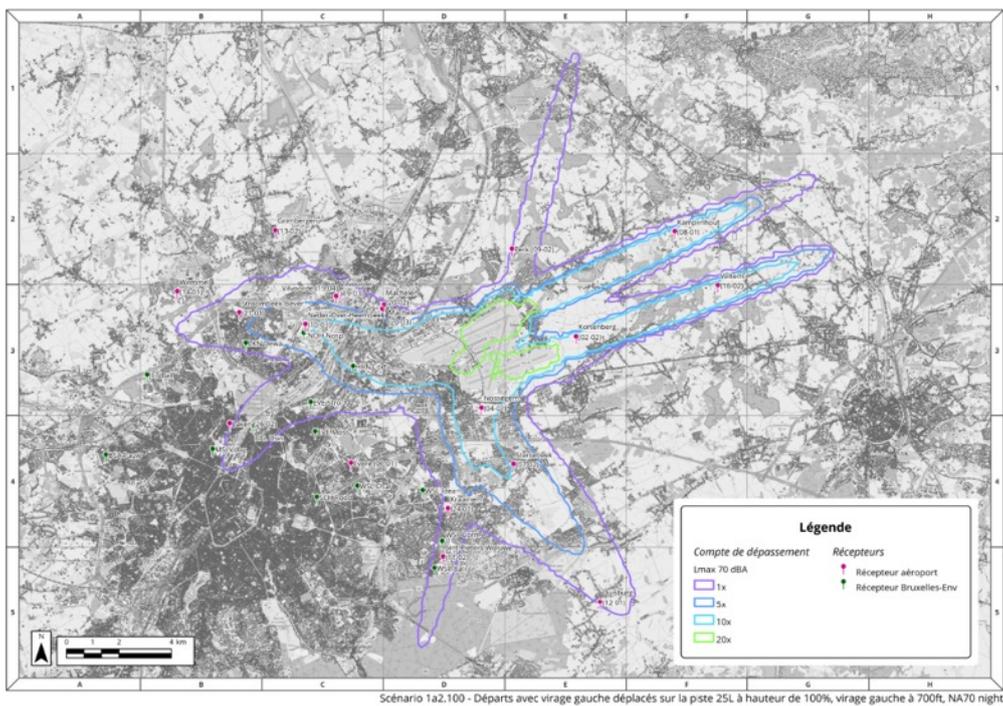


Figure 92 : Scénario 1a2.100, N70 night

7.3.4.12 Comparaison du contour N70 night 1 évènement du scénario 1a2.100 avec la base

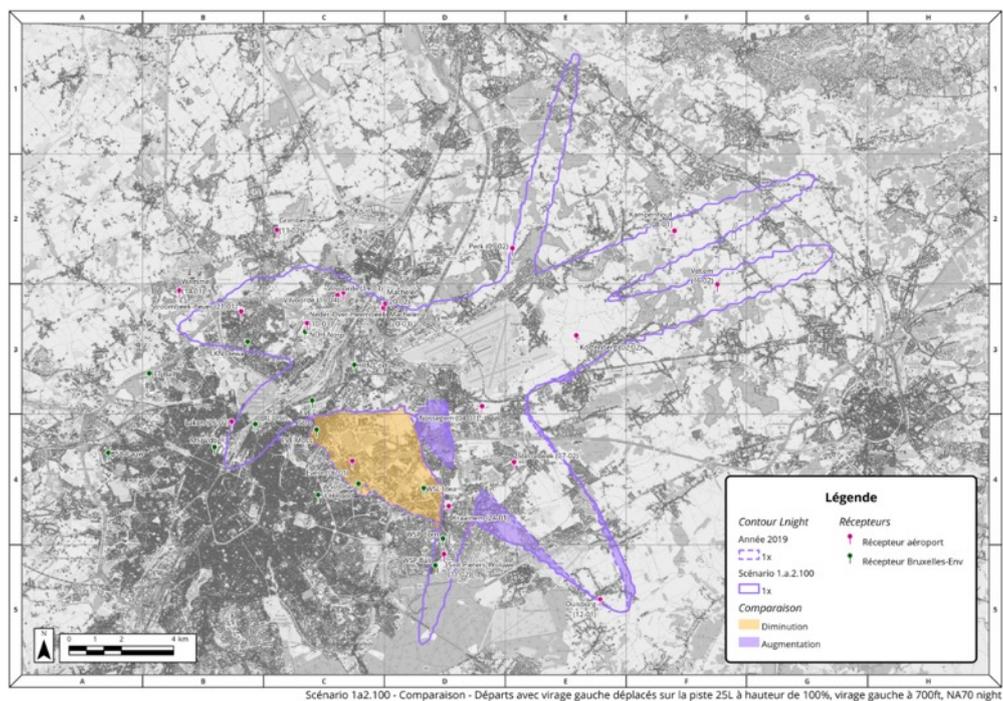


Figure 93 : Différence Scénario 1a2.100 N70 night par rapport au contour N70 night 1x de la base

7.3.5 Analyse des résultats

Scénario 1a2, 50% des départs avec virage gauche déplacés Impacts environnementaux par rapport à la base 2019					
Métriques d'exposition au bruit					
Métriques		Aire exposée		Population exposée	
Métrique	Niveau de bruit (dBA)	Aire (km ²)	Changement(%)	Population	Changement(%)
Lden	55	109.9	+2.1%	102 304	-16.5%
Ln _{night}	45	159.9	-0.7%	181 180	-16.1%
Nombre d'évènements moyen par jour au-dessus d'un niveau L _{max}					
Métriques		Aire exposée		Population exposée	
		Aire (km ²)	Changement(%)	Population	Changement(%)
N60 Day + Evening (50x)		219.0	+5.8%	263 852	-17.7%
N70 Day + Evening (5x)		144.6	0.0%	296308	+1.2%
N60 Night (10x)		181.7	+4.8%	167 564	-9.6%
N70 Night (1x)		147.2	+0.9%	244 369	-8.7%
Estimation de la population fortement gênée					
Métriques		Population impactée			
		Population		Changement (%)	
HA (Lden 55 dBA)		27 351		-16.5%	
HSD (Ln _{night} 45 dBA)		27 295		-16.1%	
Facteurs qualitatifs					
Prévisibilité (changement plus ou moins prévisible)	Identique				
Concentration des vols	Moins concentrée				
Nouvelles populations exposées au bruit	Non mais les communes au sud de l'aéroport sont plus impactées				
Consommation de carburant/émissions par rapport à la base	Très petite réduction				
Impacts opérationnels					
Capacité des pistes	Améliorée				
Capacité du système ATC	Améliorée				
Complexité du système ATC (et charge de travail)	Réduite				
Impact économique sur les compagnies	Aucun				
Impact sur les compagnies en termes de ressources	Aucun				
Complexité du pilotage	/ Identique				
Dépendance au type d'avion	Virage plus ou moins long selon le type d'avion				
Applicabilité					
Long-terme 10 à 20 ans, projet d'infrastructure					

Tableau 47 : Impacts du scénario 1a2.50

Avec 50% des départs avec virage gauche déplacés sur la piste 25L et avec un virage gauche à une altitude plus basse à 700 ft pour ces décollages, la population totale exposée est nettement plus réduite (réduction de 16% pour Lden et Lnight). Cependant les communes au sud de l'aéroport seraient exposés à des niveaux de bruit un cran plus fort que pour le scénario 1a1 étant donné que les avions les survoleraient à une altitude plus basse. Les avantages sur la capacité des pistes et la capacité du système ATC sont les mêmes que pour le scénario 1a1.

Scénario 1a2, 100% des départs avec virage gauche déplacés					
Impacts environnementaux par rapport à la base 2019					
Métriques d'exposition au bruit					
<i>Métriques</i>		<i>Aire exposée</i>		<i>Population exposée</i>	
<i>Métrique</i>	<i>Niveau de bruit (dBA)</i>	<i>Aire (km²)</i>	<i>Changement(%)</i>	<i>Population</i>	<i>Changement(%)</i>
Lden	55	111.9	+4.0%	103 091	-15.9%
Lnight	45	159.9	-0.7%	164 888	-23.6%
Nombre d'évènements moyen par jour au-dessus d'un niveau Lmax					
<i>Métriques</i>		<i>Aire exposée</i>		<i>Population exposée</i>	
		<i>Aire (km²)</i>	<i>Changement(%)</i>	<i>Population</i>	<i>Changement(%)</i>
N60 Day + Evening (50x)		212.8	+2.8%	212 727	-33.6%
N70 Day + Evening (5x)		151.3	+4.7%	237 455	-18.9%
N60 Night (10x)		195.4	+12.7%	171 247	-7.6%
N70 Night (1x)		139.0	-4.6%	209 937	-21.5%
Estimation de la population fortement gênée					
<i>Métriques</i>		<i>Population impactée</i>			
		<i>Population</i>		<i>Changement (%)</i>	
HA (Lden 55 dBA)		27 561		-15.9%	
HSD (Lnight 45 dBA)		24 840		-23.6%	
Facteurs qualitatifs					
Prévisibilité (changement plus ou moins prévisible)	Identique				
Concentration des vols	Moins concentrée				
Nouvelles populations exposées au bruit	Non mais les communes au sud de l'aéroport sont plus impactées				
Consommation de carburant/émissions par rapport à la base	Très petite réduction				
Impacts opérationnels					
Capacité des pistes	Améliorée				
Capacité du système ATC	Améliorée				
Complexité du système ATC (et charge de travail)	Très réduite				
Impact économique sur les compagnies	Aucun				
Impact sur les compagnies en termes de ressources	Aucun				
Complexité du pilotage	Identique				
Dépendance au type d'avion	Virage plus ou moins long selon le type d'avion				
Applicabilité					

Avec 100% de départs déplacés les changements sont plus significatifs, surtout pour l'indicateur Lnight qui indique une réduction globale de presque 25% de l'exposition au bruit pendant la nuit (l'indicateur Lnight prend en compte les départs avec virage gauche dans la période de 6h à 7h). En effet on peut voir sur les cartes que dans ce cas les contours bruit reculent largement au Sud-Ouest de l'aéroport.

7.4 **Scénario 1b1** : Les départs depuis la piste 25R avec virage gauche sont déplacés sur la piste 25L étendue de 900 m (0,5 NM), à hauteur de 50% et 100%, avec un virage à 1700 ft

7.4.1 **Remarques qui ont mené à ce scénario**

Dans l'ANNEXE AU COURRIER DU 15 FEVRIER 2021 du Ministre de la mobilité, référencé GG/TB/MD/Che-OUT-2160/2021, il est demandé : « *Pouvez-vous objectiver les conséquences positives en termes de réduction de bruit que pourraient engendrer les investissements suivants à l'aéroport de Bruxelles-National : La prolongation de la piste 07R/25L vers l'est sur environ 900 mètres. Le point où les avions atterrissent resterait le même qu'aujourd'hui, mais le point d'où les avions décollent depuis la piste 25L serait déplacé de 900 mètres vers l'est avec, à la clé, une altitude supérieure au-dessus du terrain aéroportuaire.* »

Le gouvernement de la Région de Bruxelles-Capitale demande également, dans sa lettre du 11 février 2021, que soient étudiées des mesures de modification de l'infrastructure, dont « *l'allongement, le déplacement des pistes (25L)* » et « *l'allongement des taxiways (piste 25L notamment)* ».

La Commune de Woluwe Saint Pierre évoque aussi le rallongement des pistes dans les solutions alternatives à analyser.

7.4.2 **Commentaires et faisabilité du scénario**

Les commentaires qui ont été faits pour le scénario 1a1 s'appliquent aussi à ce scénario, la différence étant que dans ce nouveau scénario la piste est allongée de 900 mètres à l'Est. Etant donné la situation géographique de l'aéroport, déplacer les activités un peu plus à l'Est pourrait réduire en partie le survol des communes au Sud-Ouest de l'aéroport. Cette extension de piste n'impacterait que les départs, puisqu'il s'agirait d'un seuil décalé. En effet, les contraintes de structure de piste sont différentes pour les départs et les arrivées. Un seuil décalé est moins coûteux car il n'implique pas le même type de renfort qu'une zone de piste apte à recevoir des avions pour l'atterrissage. Les atterrissages auraient donc toujours lieu à partir du même point sur la piste, ceux-ci n'impactant pas les communes lorsque cette piste est utilisée.

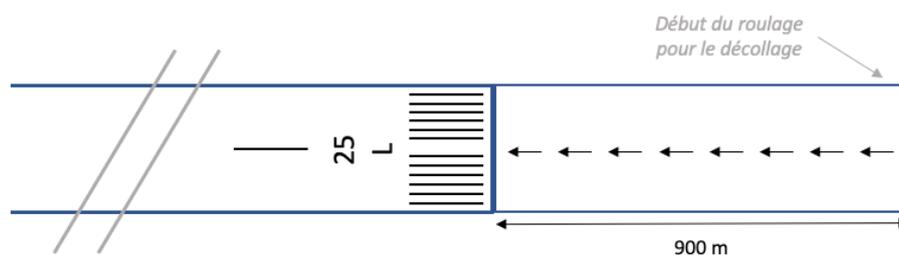


Figure 94 : Vue schématique de l'extension de la piste (pas à l'échelle)

Cette extension nécessiterait aussi des aménagements car l'extension de la piste traverserait une route. Le taxiway devrait également être prolongé, de 1800 mètres (les 900 mètres manquant vers le seuil de piste actuel plus les 900 mètres correspondant à l'extension de la piste).



Figure 95 : Zone de prolongement de la piste de 900 mètres vers l'Est

Etant donné la situation de l'aéroport, un usage intensif de la piste 25L avec cette extension de 900 mètres pourrait avoir un impact positif sur le bruit en permettant à chaque décollage d'avoir une altitude plus haute lorsque les communes au Sud de Bruxelles sont survolées. Concernant les arrivées sur la piste 25L étendue, l'impact serait le même.

Tout comme pour le scénario 5, dans la réalité, toutes les trajectoires de départ ne seront pas « déplacées » de 900 m vers l'Est. En effet, chaque équipage a pour optique d'optimiser les performances de son appareil selon les conditions du jour afin de réduire la consommation de carburant et l'usure des moteurs. Ici, la longueur de piste augmenterait de 900 m, et certains avions auront ainsi la possibilité d'appliquer une poussée plus réduite au décollage. Leur altitude pour un point donné par rapport à la situation actuelle évoluera moins, annulant une proportion des effets bénéfiques de cette mesure. Il est cependant difficile d'estimer cette proportion.

7.4.3 Explication du scénario modélisé

De la même manière que pour le scénario 1a1, nous avons donc choisi de modéliser le cas où les départs de la piste 25R en direction du Sud-Est seraient déplacés sur la piste 25L, dans un premier temps à hauteur de 50%, et dans un deuxième temps à hauteur de 100%, avec un **virage gauche à 1700 ft**.

Pour modéliser les trajectoires, nous avons simplement déplacé les backbone tracks et subtracks du scénario 1a1 de 900 mètres vers l'Est, et nous avons déplacé le seuil de départ de la piste 25L de 900 m dans AEDT. En effet, comme expliqué, il est difficile d'estimer la proportion des avions qui utiliseront les 900 m supplémentaires pour réduire la poussée, et ainsi annuler une partie du bénéfice de déplacement de la trajectoire vers l'Est. Il a donc été choisi de ne pas tenir compte de ce paramètre et de garder en mémoire que les bénéfices obtenus dans les résultats modélisés seront probablement légèrement surévalués.

Les trajectoires déplacées sont en violet sur les images ci-dessous. Nous avons ensuite assigné 50% des départs avec virage gauche sur ces nouvelles trajectoires, et 100% dans un second temps.



Figure 96 : Déplacement des backbone track et subtracks avec l'extension de la piste de 900 m vers l'Est



Figure 97 : Nouvelles backbone track et subtracks avec l'extension de la piste de 900 m vers l'Est

7.4.4 Résultats de la modélisation

Pour le cas avec 50% des départs déplacés :

7.4.4.1 Contours Lden du scénario 1b1.50

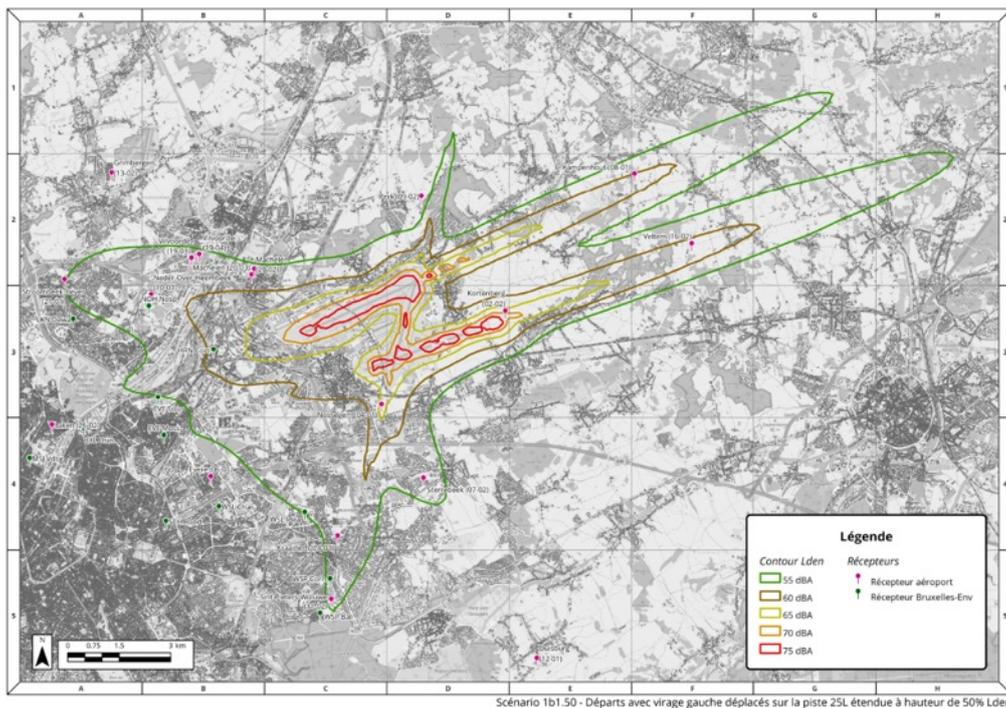


Figure 98 : Scénario 1b1.50, Lden

7.4.4.2 Comparaison du contour Lden 55 dB du scénario 1b1.50 avec la base

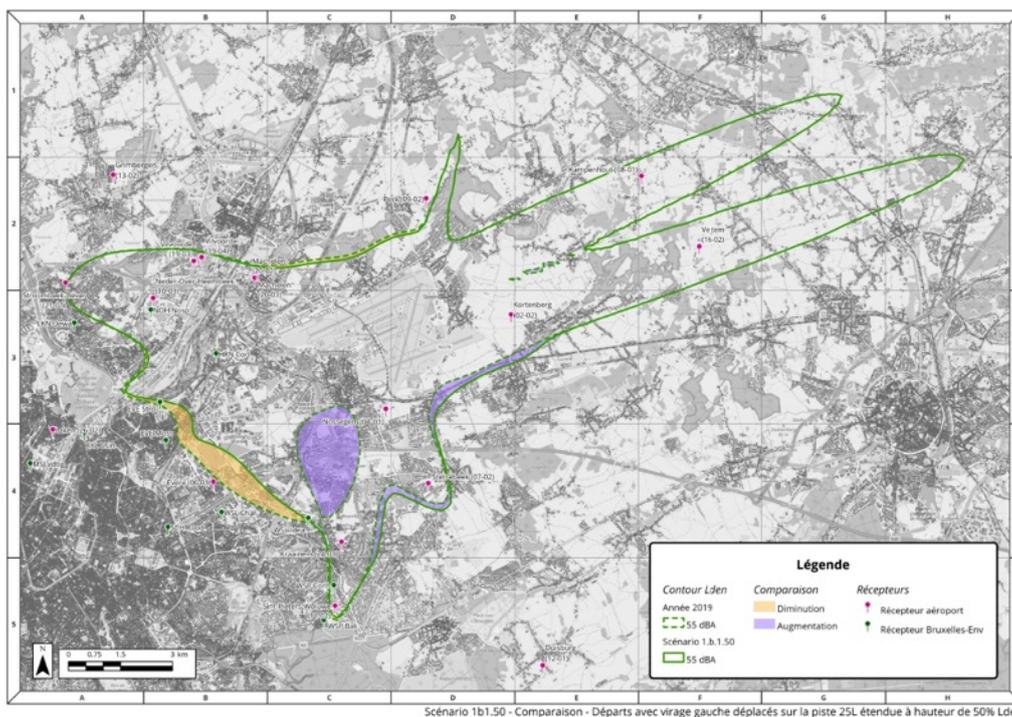


Figure 99 : Différence Scénario 1b1.50 Lden par rapport au contour Lden 55 dB de la base

7.4.4.3 Contours Lnight du scénario 1b1.50

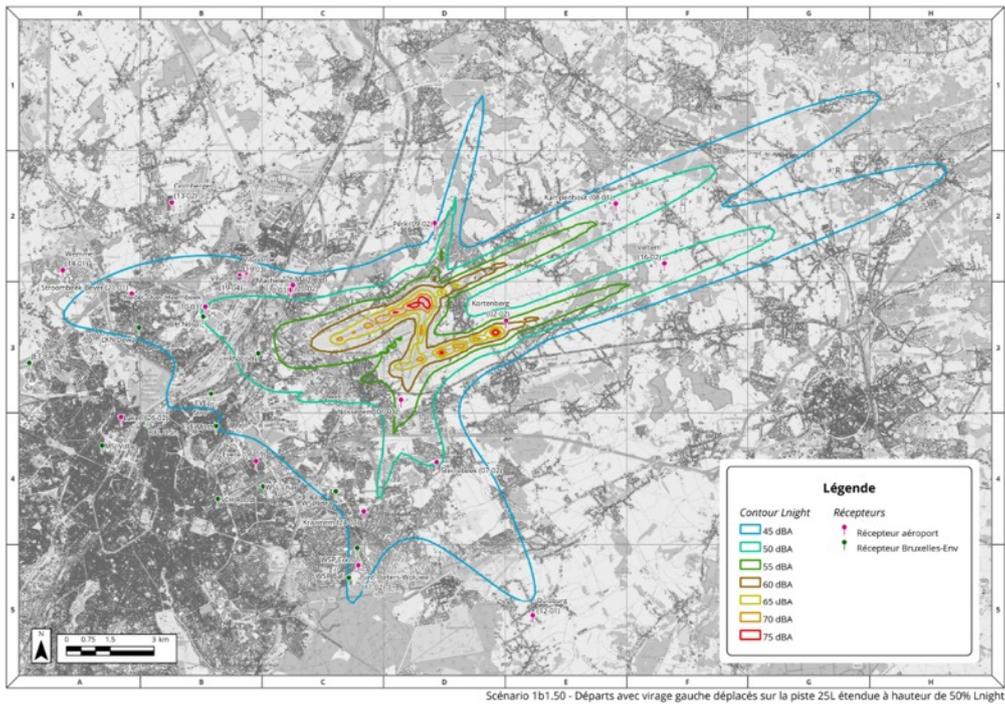


Figure 100 : Scénario 1b1.50, Lnight

7.4.4.4 Comparaison du contour Lnight 45 dB du scénario 1b1.50 avec la base

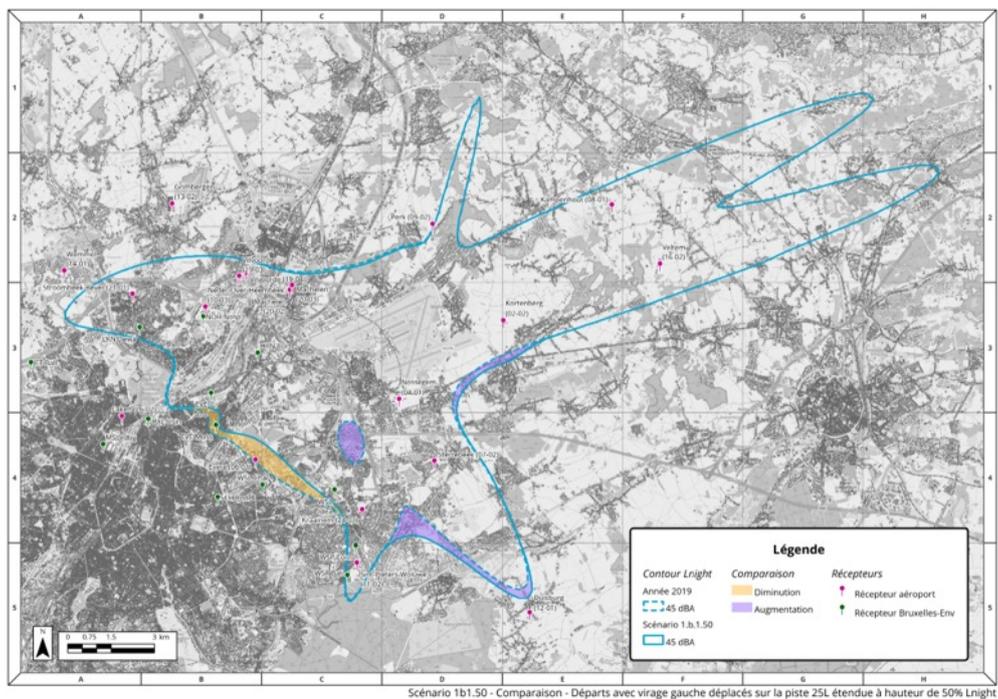


Figure 101 : Différence Scénario 1b1.50 Lnight par rapport au contour Lnight 45 dB de la base

7.4.4.5 Contours N70 night du scénario 1b1.50

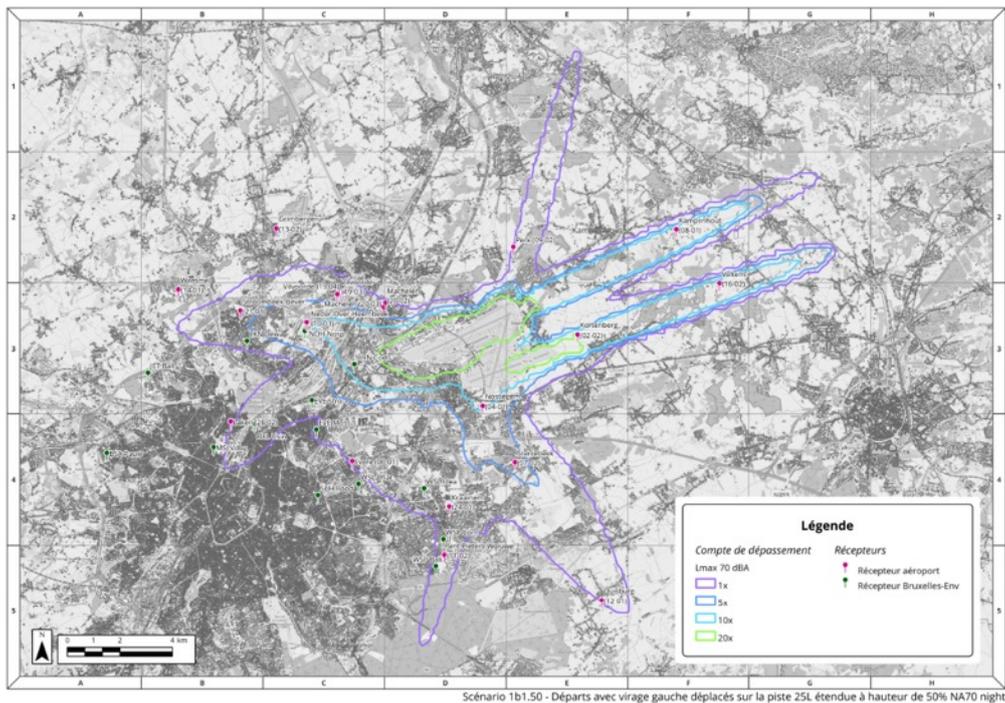


Figure 102 : Scénario 1b1.50, N70 night

7.4.4.6 Comparaison du contour N70 night 1 événement du scénario 1b1.50 avec la base

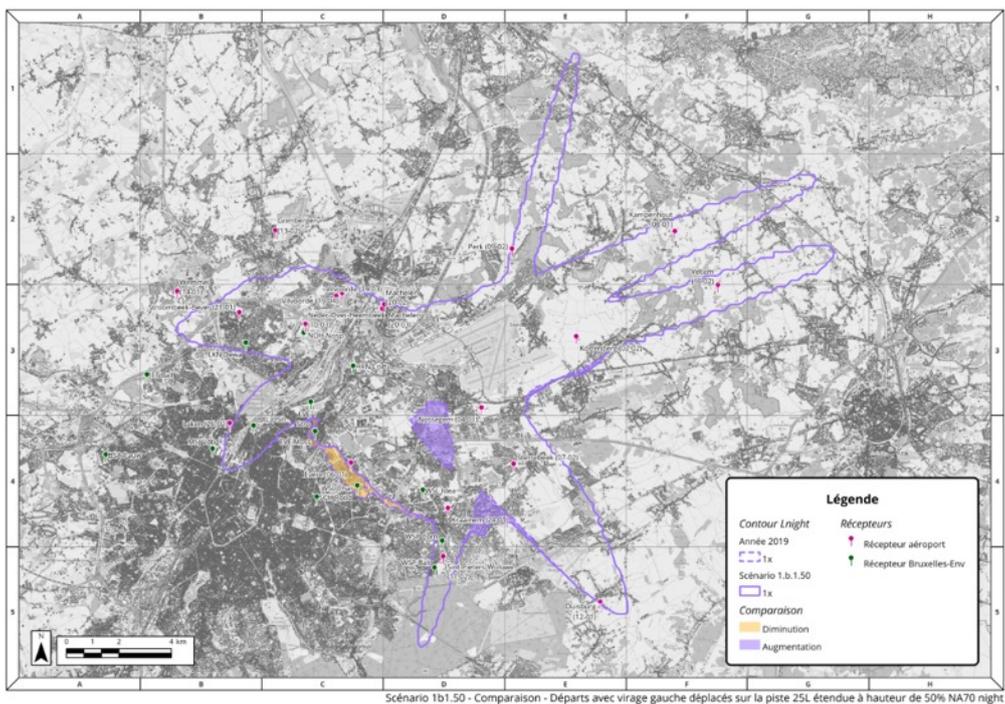


Figure 103 : Différence Scénario 1b1.50 N70 night par rapport au contour N70 night 1x de la base

Pour le cas avec 100% des départs déplacés :

7.4.4.7 Contours Lden du scénario 1b1.100

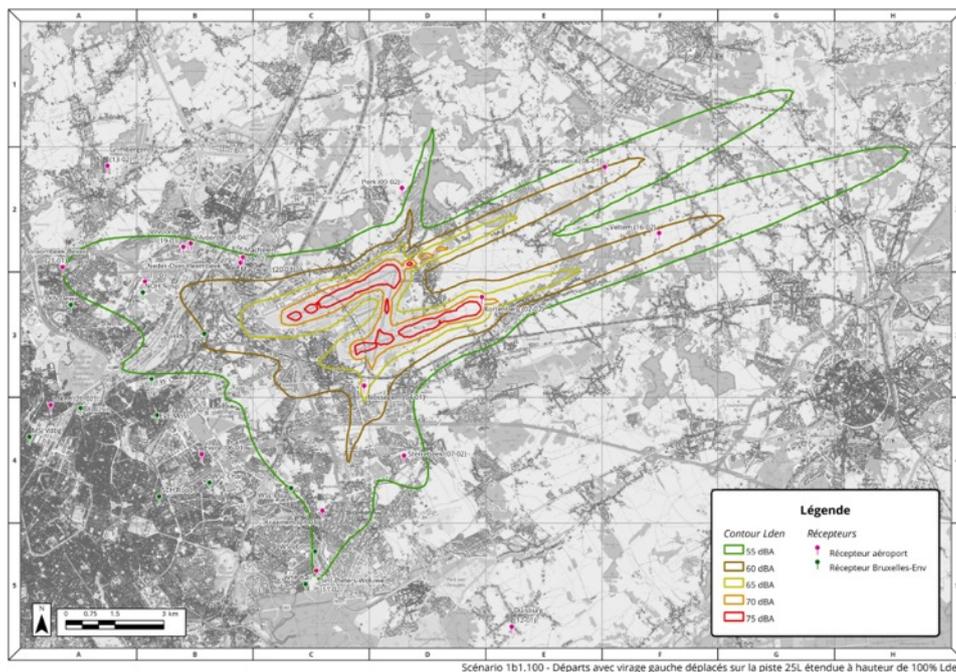


Figure 104 : Scénario 1b1.100, Lden

7.4.4.8 Comparaison du contour Lden 55 dB du scénario 1b1.100 avec la base

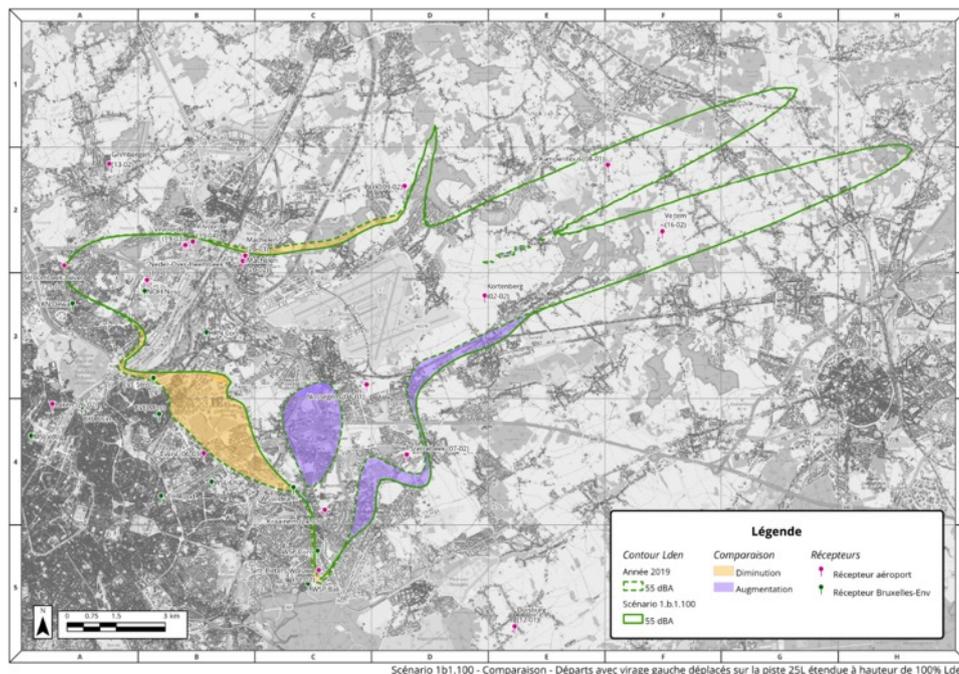


Figure 105 : Différence Scénario 1b1.100 Lden par rapport au contour Lden 55 dB de la base

7.4.4.9 Contours Lnight du scénario 1b1.100

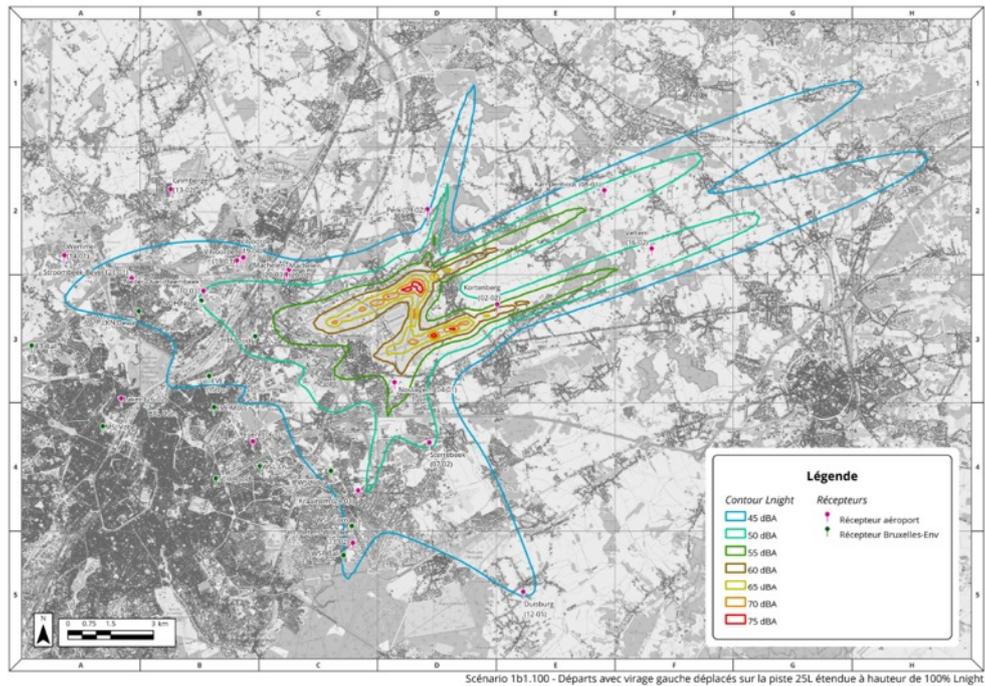


Figure 106 : Scénario 1b1.100, Lnight

7.4.4.10 Comparaison du contour Lnight 45 dB du scénario 1b1.100 avec la base

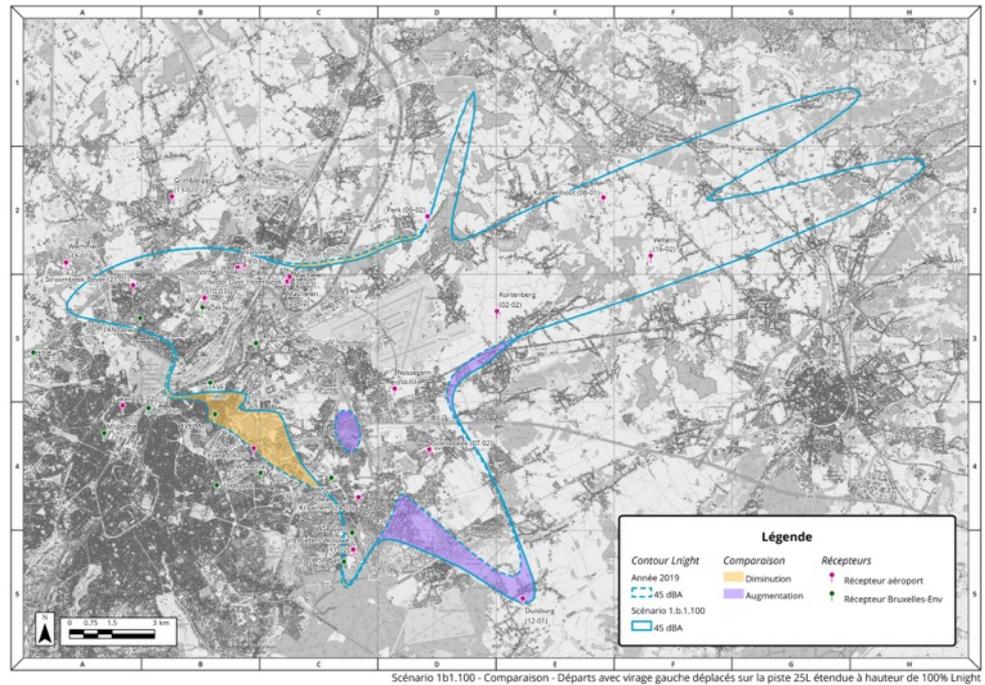


Figure 107 : Différence Scénario 1b1.100 Lnight par rapport au contour Lnight 45 dB de la base

7.4.4.1 Contours N70 night du scénario 1b1.100

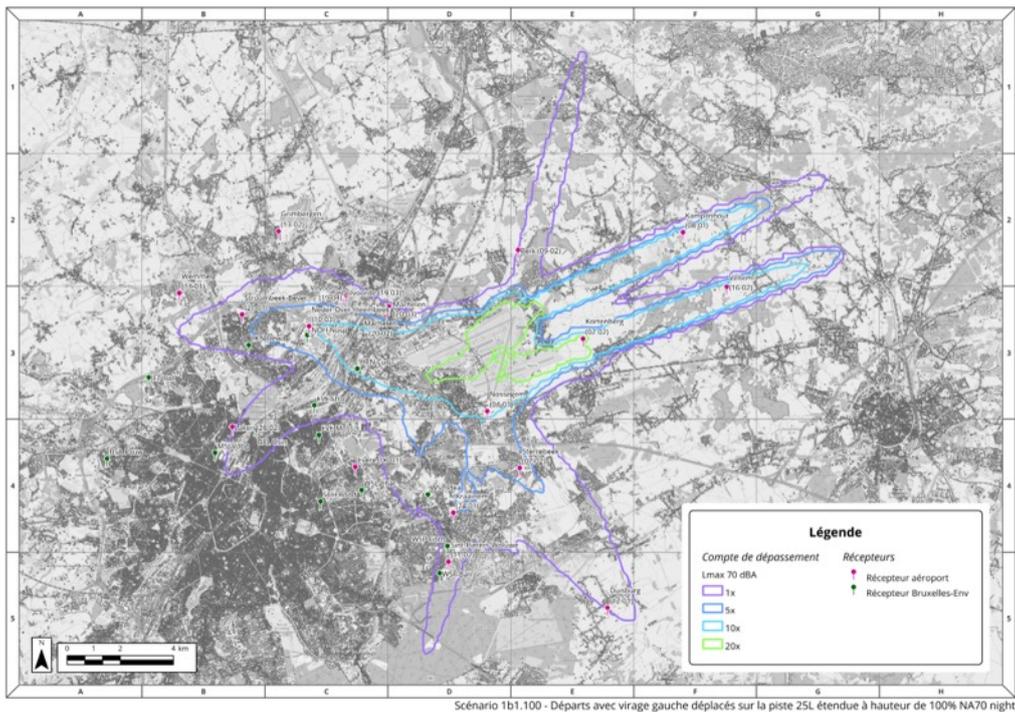


Figure 108 : Scénario 1b1.100, N70 night

7.4.4.2 Comparaison du contour N70 night 1 évènement du scénario 1b1.100 avec la base

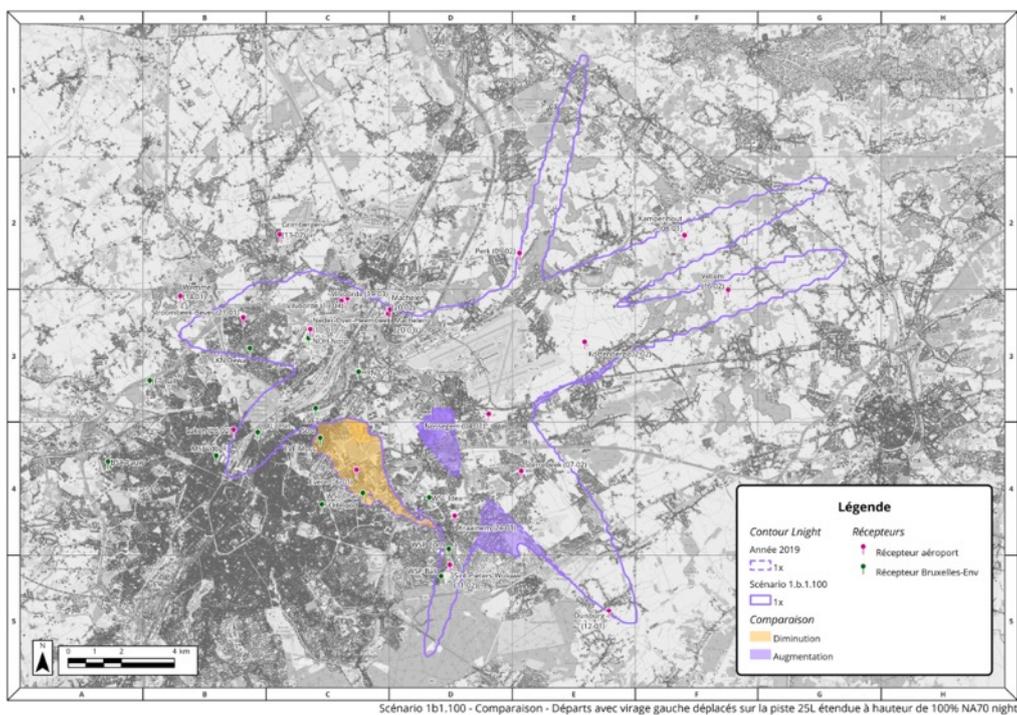


Figure 109 : Différence Scénario 1b1.100 N70 night par rapport au contour N70 night 1x de la base

7.4.5 Analyse des résultats

Scénario 1b1 , 50% des départs avec virage gauche déplacés					
Impacts environnementaux par rapport à la base 2019					
Métriques d'exposition au bruit					
Métriques		Aire exposée		Population exposée	
Métrique	Niveau de bruit (dBA)	Aire (km ²)	Changement(%)	Population	Changement(%)
Lden	55	110.3	+2.4%	116 018	-5.3%
Lnight	45	161.7	+0.4%	198 453	-8.1%
Nombre d'évènements moyen par jour au-dessus d'un niveau Lmax					
Métriques		Aire exposée		Population exposée	
		Aire (km ²)	Changement(%)	Population	Changement(%)
N60 Day + Evening (50x)		211.0	+1.9%	285 397	-10.9%
N70 Day + Evening (5x)		149.5	+3.4%	293 194	+0.1%
N60 Night (10x)		178.5	+3.0%	179 620	-3.1%
N70 Night (1x)		148.2	+1.6%	256 077	-4.3%
Estimation de la population fortement gênée					
Métriques		Population impactée			
		Population	Changement (%)		
HA (Lden 55 dBA)		31 017	-5.3%		
HSD (Lnight 45 dBA)		29 897	-8.1%		
Facteurs qualitatifs					
Prévisibilité (changement plus ou moins prévisible)	Identique				
Concentration des vols	Moins concentrée				
Nouvelles populations exposées au bruit	Non mais les communes au sud de l'aéroport sont plus impactées				
Consommation de carburant/émissions par rapport à la base	Très petite réduction				
Impacts opérationnels					
Capacité des pistes	Améliorée				
Capacité du système ATC	Améliorée				
Complexité du système ATC (et charge de travail)	Réduite				
Impact économique sur les compagnies	Aucun				
Impact sur les compagnies en termes de ressources	Aucun				
Complexité du pilotage	Identique				
Dépendance au type d'avion	Virage plus ou moins long selon le type d'avion				
Applicabilité					
Long-terme 10 à 20 ans, projet d'infrastructure					

Tableau 49 : Impacts du scénario 1b1.50

L'extension d'une piste représente un grand investissement de l'ordre de 50 millions d'euros. Avec 50% des départs avec virage gauche déplacés sur la piste 25L étendue et avec un virage gauche à une altitude de 1700

ft pour ces décollages, les bénéfiques en termes de réduction de bruit sont moins importants que pour le scénario précédent 1a2.50 (3 fois moins importants si l'on compare l'indicateur Lden et 2 fois moins importants pour Lnight).

Scénario 1b1 , 100% des départs avec virage gauche déplacés					
Impacts environnementaux par rapport à la base 2019					
Métriques d'exposition au bruit					
<i>Métriques</i>		<i>Aire exposée</i>		<i>Population exposée</i>	
<i>Métrique</i>	<i>Niveau de bruit (dBA)</i>	<i>Aire (km²)</i>	<i>Changement(%)</i>	<i>Population</i>	<i>Changement(%)</i>
Lden	55	108.0	+0.3%	112 098	-8.5%
Lnight	45	162.3	+0.8%	186 726	-13.5%
Nombre d'évènements moyen par jour au-dessus d'un niveau Lmax					
<i>Métriques</i>		<i>Aire exposée</i>		<i>Population exposée</i>	
		<i>Aire (km²)</i>	<i>Changement(%)</i>	<i>Population</i>	<i>Changement(%)</i>
N60 Day + Evening (50x)		209.0	+1.0%	246 843	-23.0%
N70 Day + Evening (5x)		149.5	+3.4%	256 112	-12.5%
N60 Night (10x)		182.0	+5.0%	178 163	-3.9%
N70 Night (1x)		144.8	-0.7%	231 753	-13.4%
Estimation de la population fortement gênée					
<i>Métriques</i>		<i>Population impactée</i>			
		<i>Population</i>		<i>Changement (%)</i>	
HA (Lden 55 dBA)		29 969		-8.5%	
HSD (Lnight 45 dBA)		28 130		-13.5%	
Facteurs qualitatifs					
Prévisibilité (changement plus ou moins prévisible)		Identique			
Concentration des vols		Moins concentrée			
Nouvelles populations exposées au bruit		Non mais les communes au sud de l'aéroport sont plus impactées			
Consommation de carburant/émissions par rapport à la base		Très petite réduction			
Impacts opérationnels					
Capacité des pistes		Améliorée			
Capacité du système ATC		Améliorée			
Complexité du système ATC (et charge de travail)		Très réduite			
Impact économique sur les compagnies		Aucun			
Impact sur les compagnies en termes de ressources		Aucun			
Complexité du pilotage		Identique			
Dépendance au type d'avion		Virage plus ou moins long selon le type d'avion			
Applicabilité					
Long-terme 10 à 20 ans, projet d'infrastructure					

Tableau 50 : Impacts du scénario 1b1.100

Dans le cas avec 100% des départs déplacés, la réduction de la population exposée pour les métriques Lden et Lnight est encore inférieure à celle du scénario 1a2.50. Ce scénario d'extension de piste de 900 mètres en conservant la même altitude de virage est donc moins efficace que le précédent où seulement l'altitude de virage est modifiée (abaissée à 700 ft), toujours si l'on regarde la population totale impactée. L'investissement dans l'extension de la piste en plus du taxiway ne serait donc dans ce contexte pas tellement bénéfique.

7.5 **Scénario 1b2 : Les départs depuis la piste 25R avec virage gauche sont déplacés sur la piste 25L étendue de 900 m (0,5 NM), à hauteur de 50% et 100%, avec un virage à 700 ft**

7.5.1 **Remarques qui ont mené à ce scénario**

Dans l'ANNEXE AU COURRIER DU 15 FEVRIER 2021 du Ministre de la mobilité, référencé GG/TB/MD/Che-OUT-2160/2021, il est demandé : « *Pouvez-vous objectiver les conséquences positives en termes de réduction de bruit que pourraient engendrer les investissements suivants à l'aéroport de Bruxelles-National : La prolongation de la piste 07R/25L vers l'est sur environ 900 mètres. Le point où les avions atterrissent resterait le même qu'aujourd'hui, mais le point d'où les avions décollent depuis la piste 25L serait déplacé de 900 mètres vers l'est avec, à la clé, une altitude supérieure au-dessus du terrain aéroportuaire.* »

Le gouvernement de la Région de Bruxelles-Capitale demande également, dans sa lettre du 11 février 2021, que soient étudiées des mesures de modification de l'infrastructure, dont « *l'allongement, le déplacement des pistes (25L)* » et « *l'allongement des taxiways (piste 25L notamment)* ».

La Commune de Woluwe Saint Pierre évoque aussi le rallongement des pistes dans les solutions alternatives à analyser.

7.5.2 **Commentaires et faisabilité du scénario**

Par rapport au scénario précédent (le scénario 1b1), le virage gauche aurait lieu plus tôt (plus à l'Est). De plus, par rapport au scénario 1a2, les 900 mètres de piste supplémentaire permettraient d'une part de décaler encore un peu les trajectoires au-dessus de zones moins peuplées, et d'autre part d'avoir une altitude un peu plus élevée lors du virage.

7.5.3 **Explication du scénario modélisé**

De la même manière que pour le scénario 1a1, nous avons donc choisi de modéliser le cas où les départs de la piste 25R en direction du Sud-Est seraient déplacés sur la piste 25L, dans un premier temps à hauteur de 50%, et dans un deuxième temps à 100%, avec un **virage gauche à 700 ft**.

Tout comme détaillé dans le scénario 1a2, les 700 ft représentent une limite basse qui, selon les contraintes du jour et le type d'avion, peut ou ne pas être respectée. La charge de travail étant élevée au décollage, les équipages adaptent leur trajectoire selon leurs besoins du moment. Ainsi, ils peuvent entamer le virage légèrement plus tard. Ceci est parfaitement autorisé dans le cadre des procédures. Ainsi, les bénéfices obtenus

dans les résultats de la modélisation sont potentiellement très légèrement surévalués, sans que cela ne soit quantifiable réellement.

Pour modéliser les trajectoires, nous avons simplement déplacé les backbone tracks et subtracks du scénario 1b1 (en vert ci-dessous) de 900 mètres vers l'Est, et nous avons déplacé le seuil de départ de la piste 25L de 900 m dans AEDT. Les trajectoires déplacées sont en rose sur les images ci-dessous. Nous avons ensuite assigné 50% des départs avec virage gauche sur ces nouvelles trajectoires, et 100% dans un deuxième temps.



Figure 110 : Backbone track et subtracks pour les départs de la piste 25L avec un virage gauche à 700 ft déplacés de 900 m vers l'Est

7.5.4 Résultats de la modélisation

Pour le cas avec 50% des départs déplacés :

7.5.4.1 Contours Lden du scénario 1b2.50

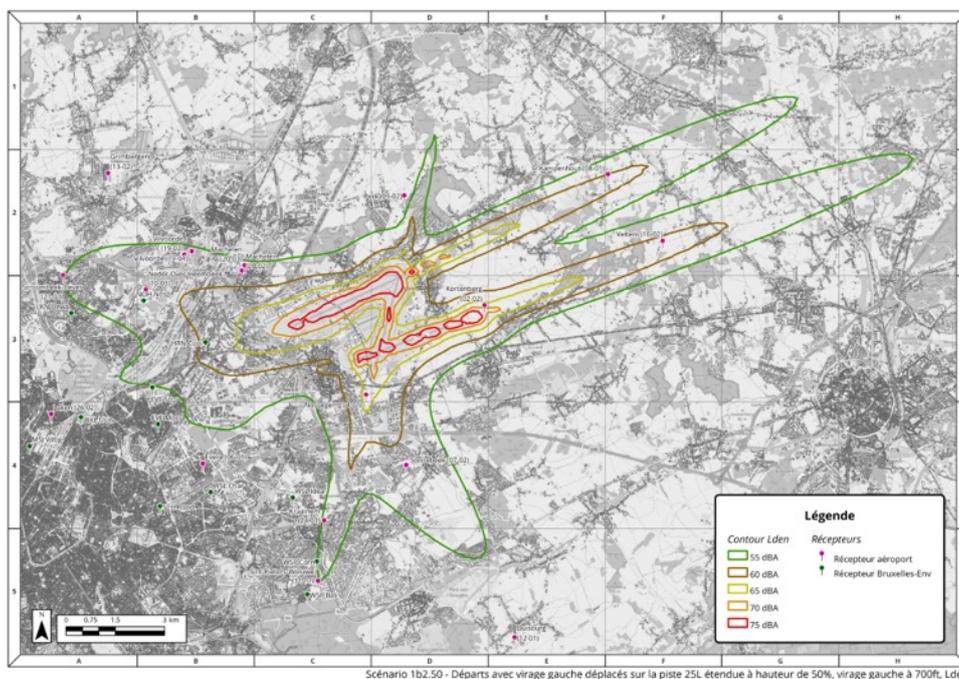


Figure 111 : Scénario 1b2.50, Lden

7.5.4.2 Comparaison du contour Lden 55 dB du scénario 1b2.50 avec la base

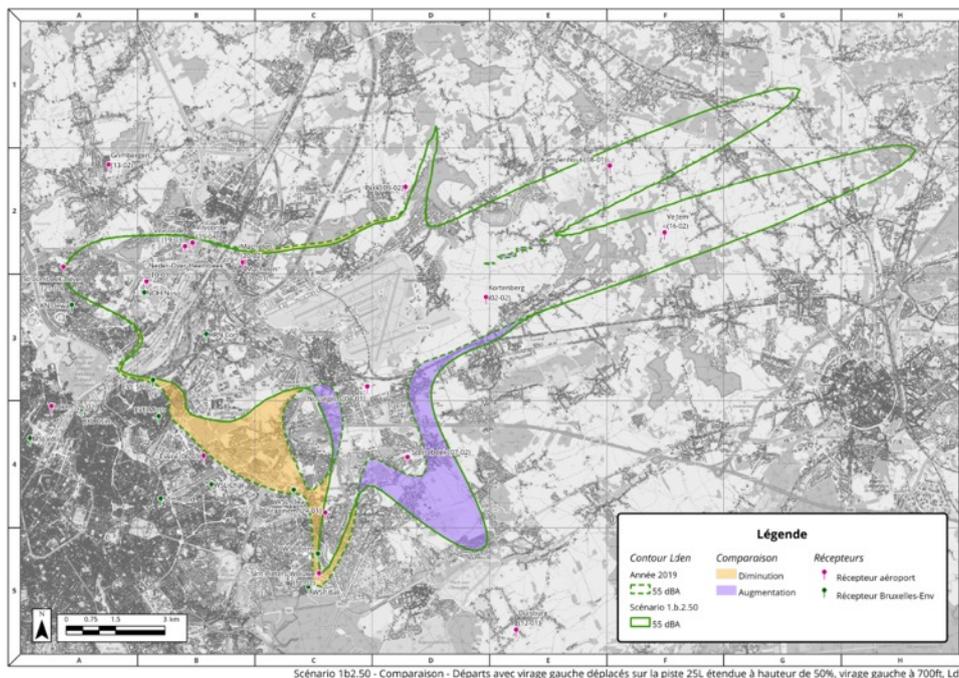


Figure 112 : Différence scénario 1b2.50 Lden par rapport au contour Lden 55 dB de la base

7.5.4.3 Contours Lnight du scénario 1b2.50

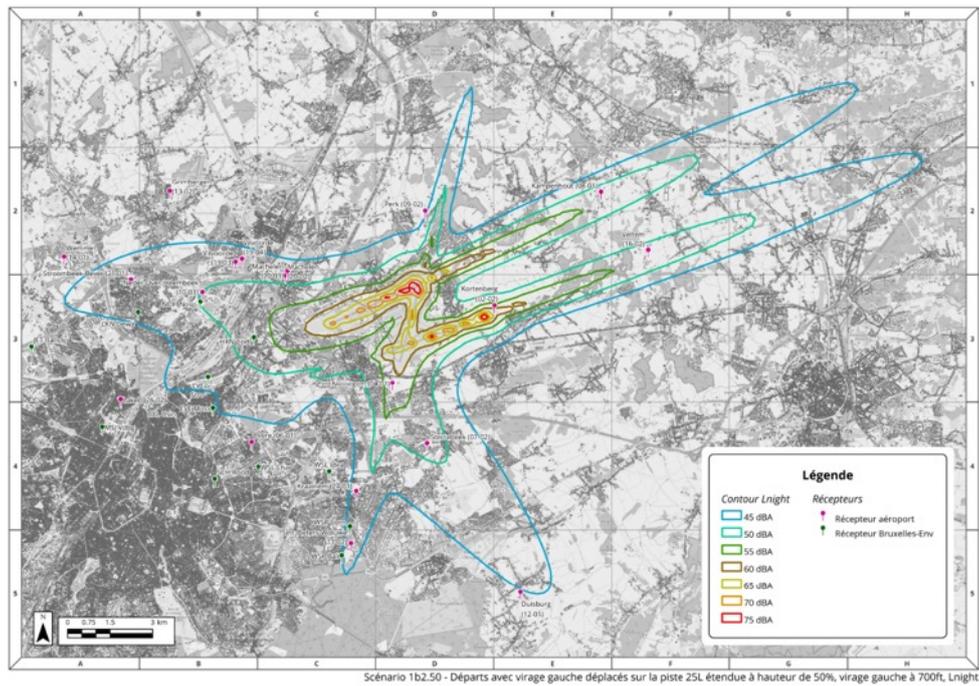


Figure 113 : Scénario 1b2.50, Lnight

7.5.4.4 Comparaison du contour Lnight 45 dB du scénario 1b2.50 avec la base

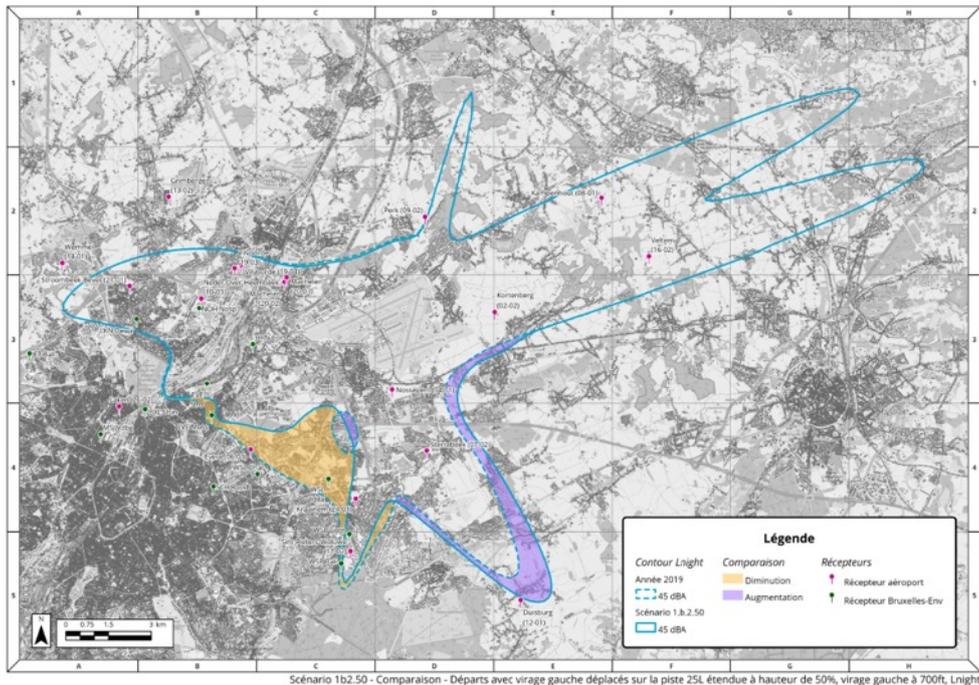


Figure 114 : Différence Scénario 1b2.50 Lnight par rapport au contour Lnight 45 dB de la base

7.5.4.5 Contours N70 night du scénario 1b2.50

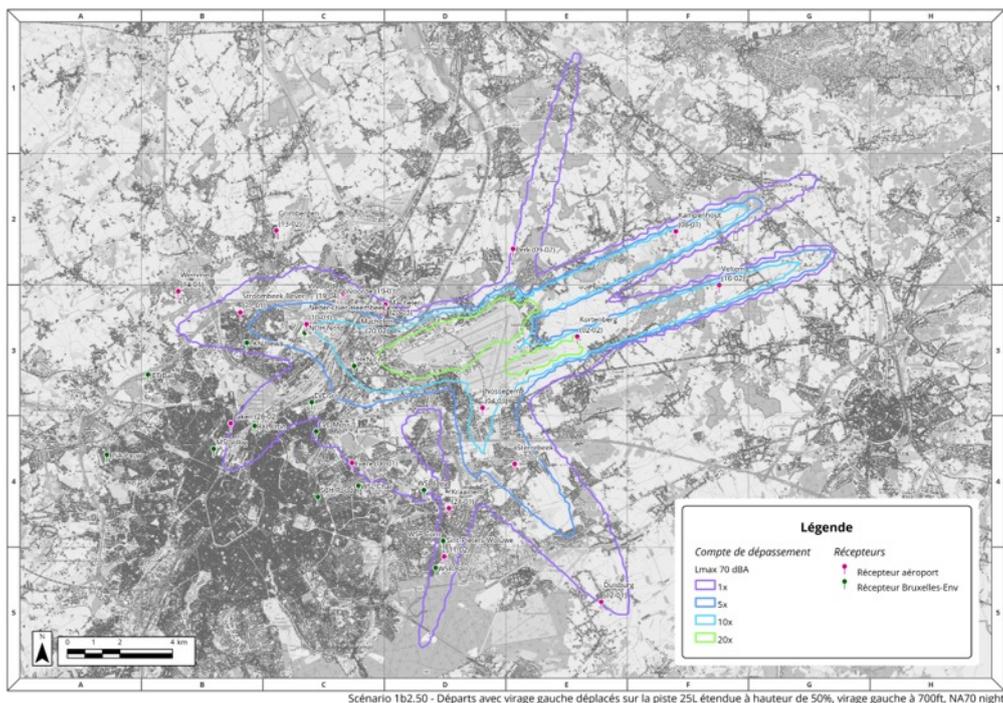


Figure 115 : Scénario 1b2.50, N70 night

7.5.4.6 Comparaison du contour N70 night 1 événement de dépassement du scénario 1b2.50 avec la base

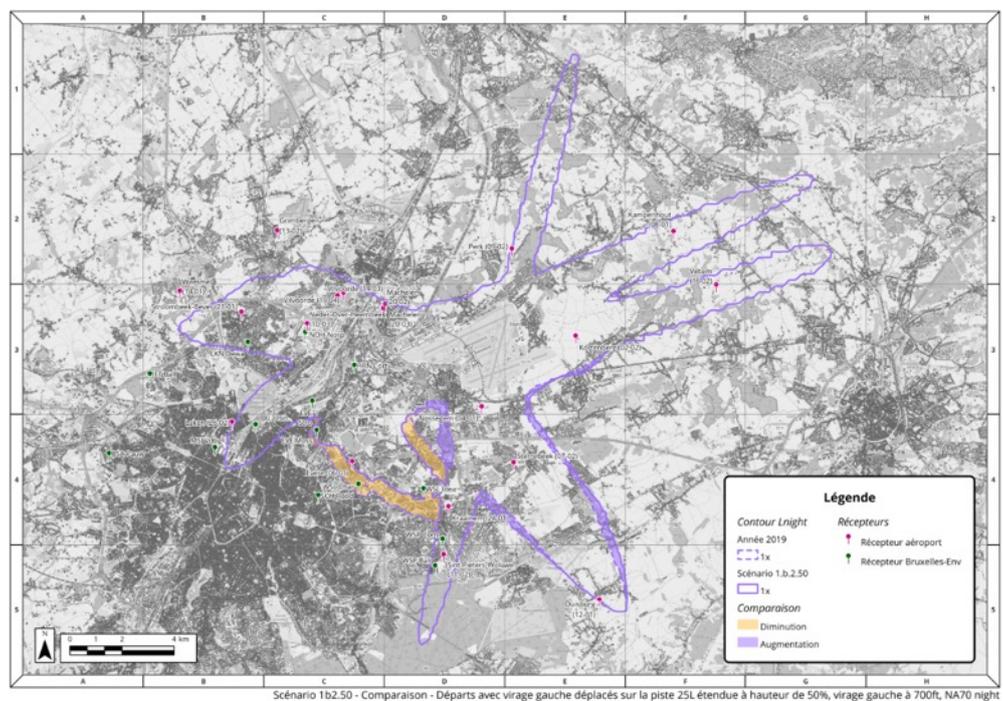


Figure 116 : Différence Scénario 1b2.50 N70 night par rapport au contour N70 night 1x de la base

Pour le cas avec 100% des départs décalés :

7.5.4.7 Contours Lden du scénario 1b2.100

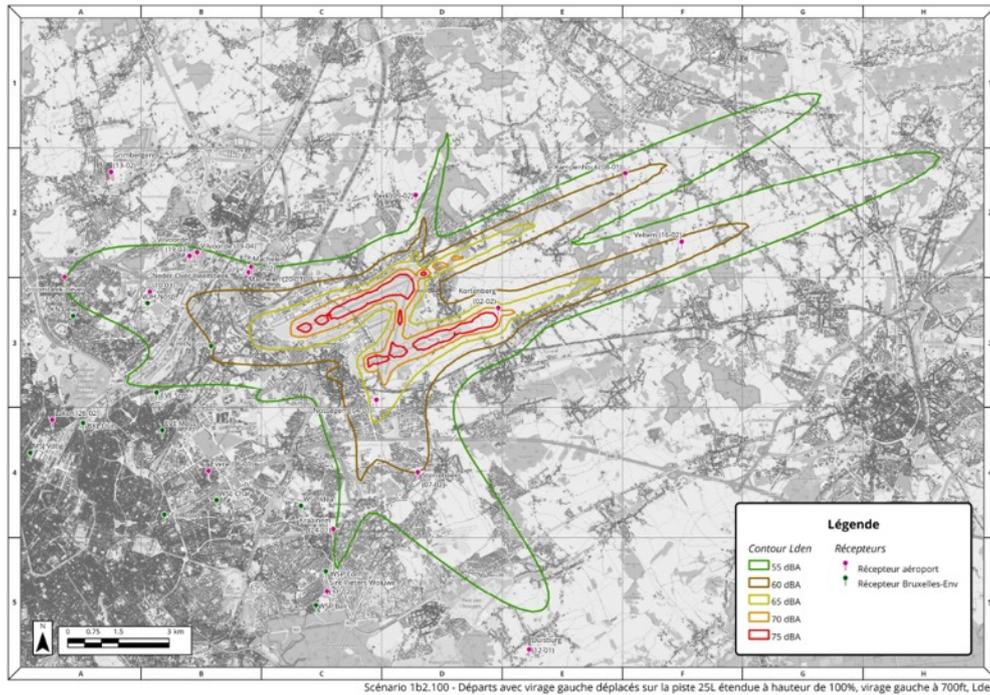


Figure 117 : Scénario 1b2.100, Lden

7.5.4.8 Comparaison du contour Lden 55 dB Lden du scénario 1b2.100 avec la base

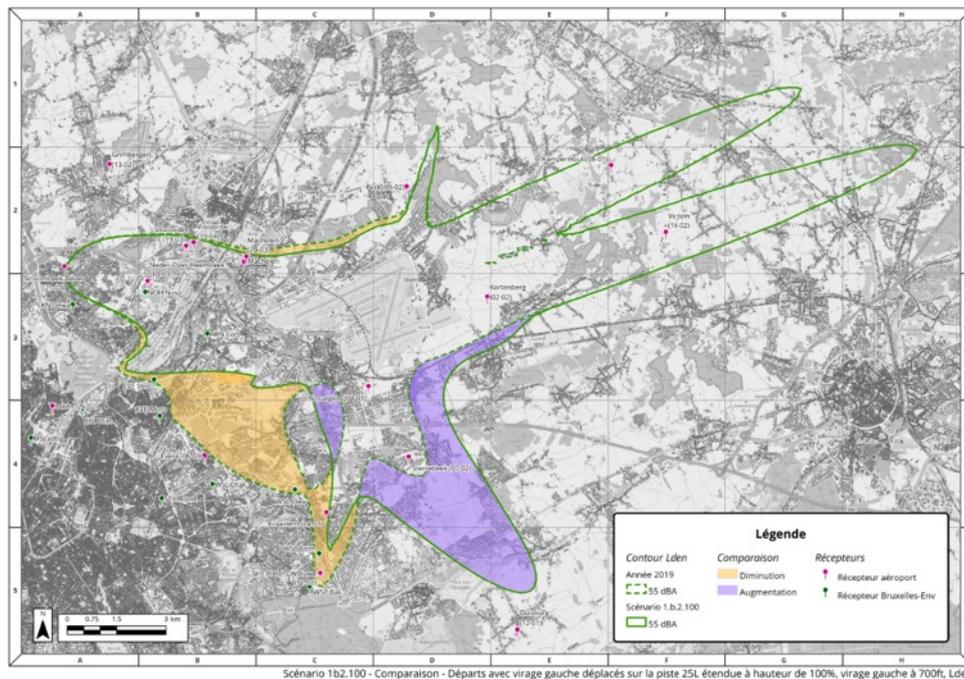


Figure 118 : Différence scénario 1b2.100 Lden par rapport au contour Lden 55 dB de la base

7.5.4.9 Contours Lnight du scénario 1b2.100

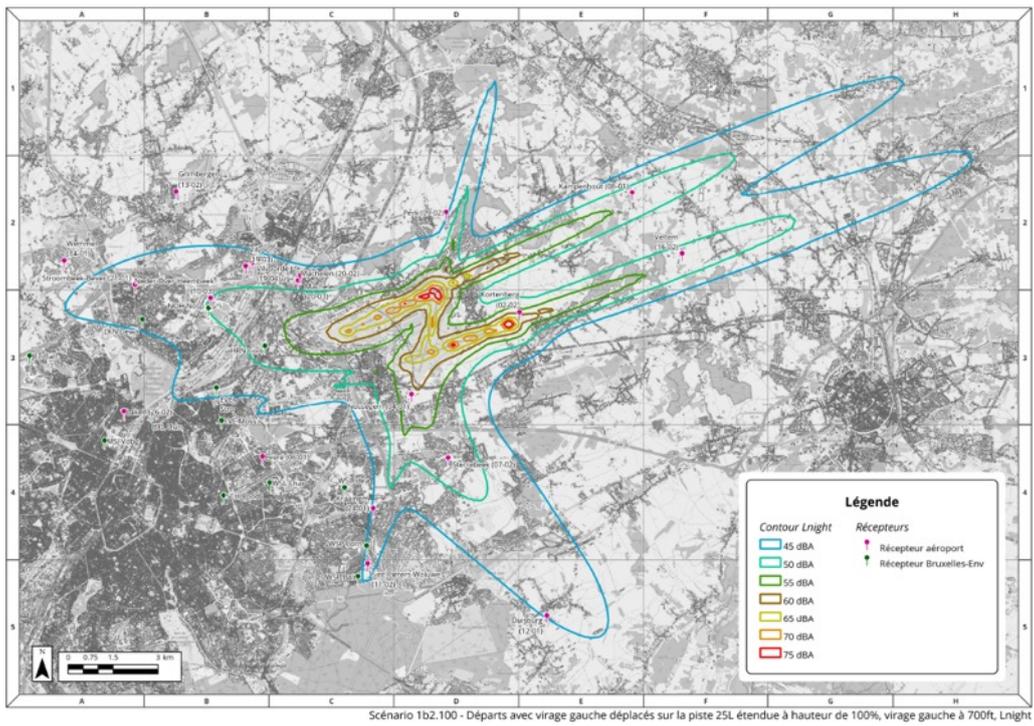


Figure 119 : Scénario 1b2.100, Lnight

7.5.4.10 Comparaison du contour Lnight 45 dB du scénario 1b2.100 avec la base

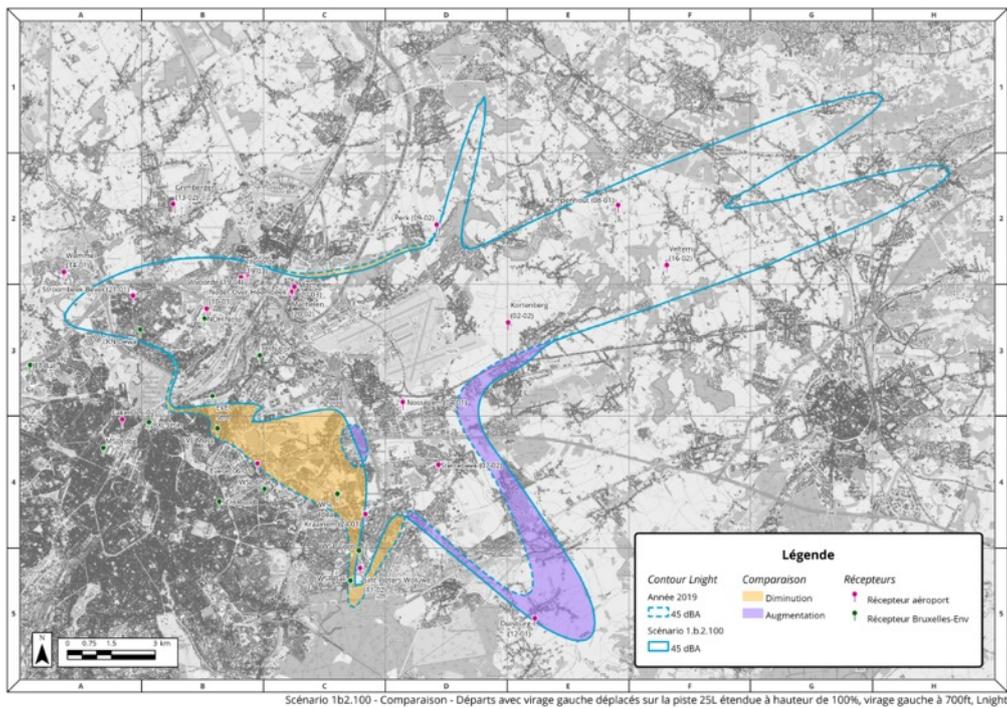


Figure 120 : Différence Scénario 1b2.100 Lnight par rapport au contour Lnight 45 dB de la base

7.5.4.11 Contours N70 night du scénario 1b2.100

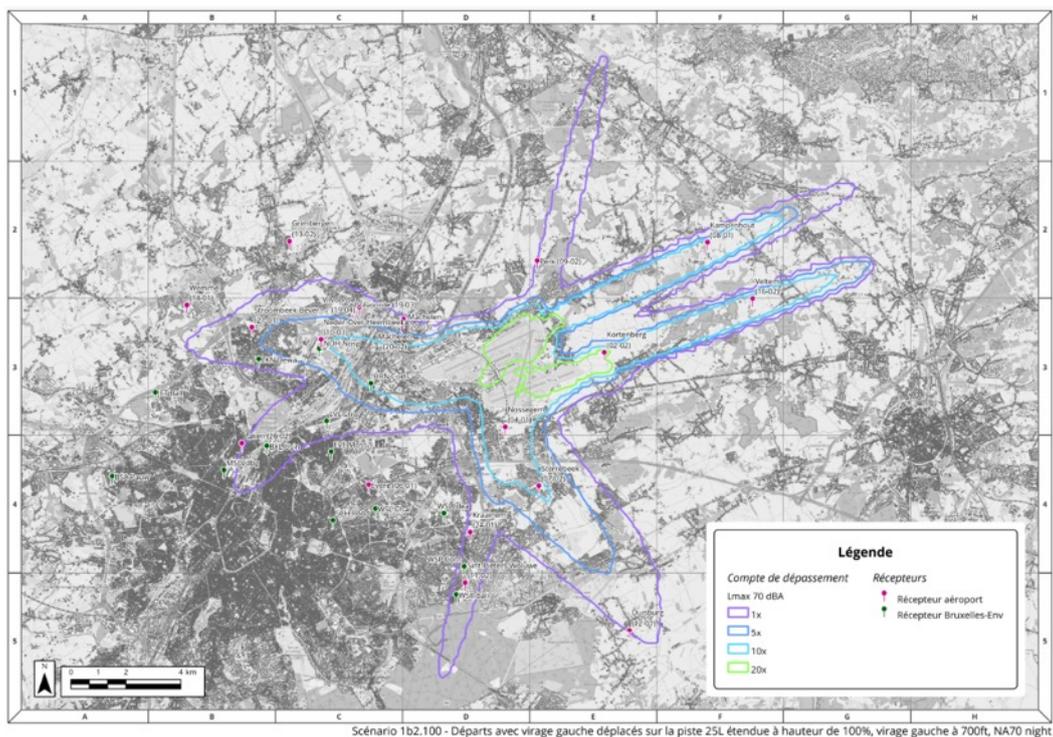


Figure 121 : Scénario 1b2.100, N70 night

7.5.4.12 Comparaison du contour N70 night 1 événement du scénario 1b2.100 avec la base

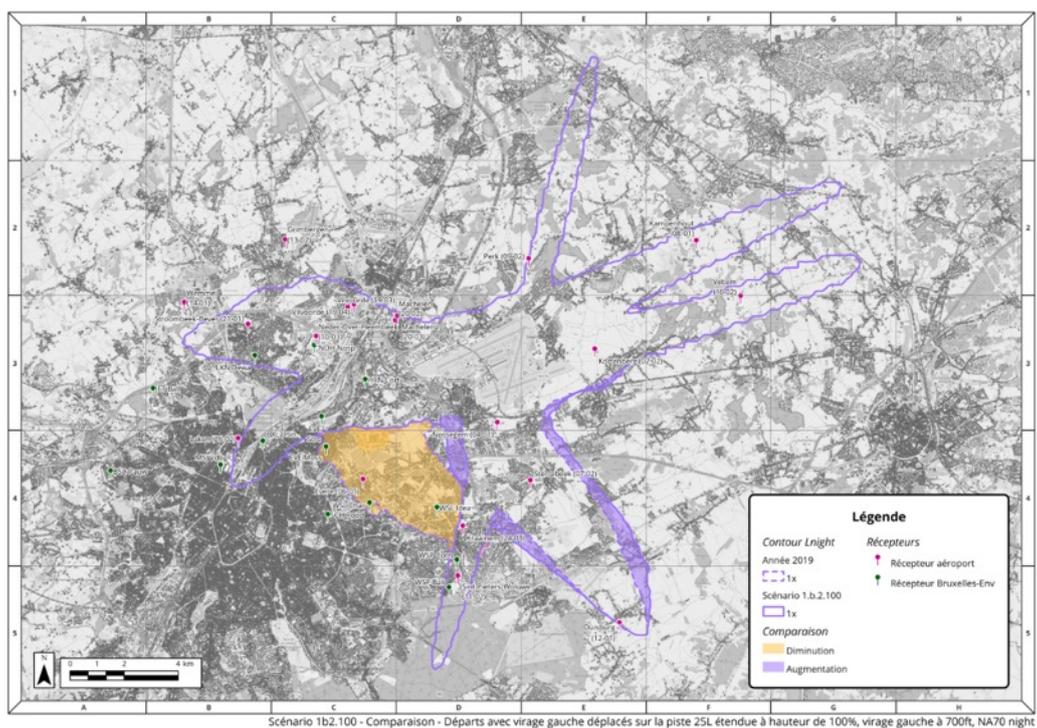


Figure 122 : Différence Scénario 1b2.100 N70 night par rapport au contour N70 night 1x de la base

7.5.5 Analyse des résultats

Scénario 1b2 , 50% des départs avec virage gauche déplacés					
Impacts environnementaux par rapport à la base 2019					
Métriques d'exposition au bruit					
Métriques		Aire exposée		Population exposée	
Métrique	Niveau de bruit (dBA)	Aire (km ²)	Changement(%)	Population	Changement(%)
Lden	55	108.3	+0.6%	99 590	-18.7%
Lnight	45	158.0	-1.8%	176 203	-18.4%
Nombre d'évènements moyen par jour au-dessus d'un niveau Lmax					
Métriques		Aire exposée		Population exposée	
		Aire (km ²)	Changement(%)	Population	Changement(%)
N60 Day + Evening (50x)		220.2	+6.3%	265 102	-17.3%
N70 Day + Evening (5x)		160.6	+11.1%	296 068	+1.1%
N60 Night (10x)		180.7	+4.2%	165 020	-11.0%
N70 Night (1x)		144.7	-0.7%	237 302	-11.3%
Estimation de la population fortement gênée					
Métriques		Population impactée			
		Population	Changement (%)		
HA (Lden 55 dBA)		26 625	-18.7%		
HSD (Lnight 45 dBA)		26 545	-18.4%		
Facteurs qualitatifs					
Prévisibilité (changement plus ou moins prévisible)		Identique			
Concentration des vols		Moins concentrée			
Nouvelles populations exposées au bruit		Non mais les communes au sud de l'aéroport sont plus impactées			
Consommation de carburant/émissions par rapport à la base		Très petite réduction			
Impacts opérationnels					
Capacité des pistes		Améliorée			
Capacité du système ATC		Améliorée			
Complexité du système ATC (et charge de travail)		Réduite			
Impact économique sur les compagnies		Aucun			
Impact sur les compagnies en termes de ressources		Aucun			
Complexité du pilotage		Identique			
Dépendance au type d'avion		Virage plus ou moins long selon le type d'avion			
Applicabilité					
Long-terme 10 à 20 ans, projet d'infrastructure					

Tableau 51 : Impacts du scénario 1b2.50

Avec 50% des départs avec virage gauche déplacés sur la piste 25L étendue et avec un virage gauche à une altitude abaissée à 700 ft pour ces décollages, les bénéfices en termes de réduction de bruit sont d'une part plus

importants que dans le scénario précédent 1b1 et aussi légèrement plus importants que dans le scénario 1a2.50. L'extension de la piste 25L pour les décollages n'est donc efficace pour réduire le bruit que si le virage gauche a lieu plus tôt.

Scénario 1b2 , 100% des départs avec virage gauche déplacés					
Impacts environnementaux par rapport à la base 2019					
Métriques d'exposition au bruit					
Métriques		Aire exposée		Population exposée	
Métrique	Niveau de bruit (dBA)	Aire (km ²)	Changement(%)	Population	Changement(%)
Lden	55	110.6	+2.7%	100 351	-18.1%
Lnight	45	158.5	-1.5%	160 949	-25.4%
Nombre d'évènements moyen par jour au-dessus d'un niveau Lmax					
Métriques		Aire exposée		Population exposée	
		Aire (km ²)	Changement(%)	Population	Changement(%)
N60 Day + Evening (50x)		212.1	+2.4%	200 204	-37.5%
N70 Day + Evening (5x)		149.7	+3.6%	229 613	-21.6%
N60 Night (10x)		194.6	+12.2%	169 571	-8.5%
N70 Night (1x)		137.8	-5.5%	204 709	-23.5%
Estimation de la population fortement gênée					
Métriques		Population impactée			
		Population		Changement (%)	
HA (Lden 55 dBA)		26 829		-18.1%	
HSD (Lnight 45 dBA)		24 247		-25.4%	
Facteurs qualitatifs					
Prévisibilité (changement plus ou moins prévisible)	Identique				
Concentration des vols	Moins concentrée				
Nouvelles populations exposées au bruit	Non mais les communes au sud de l'aéroport sont plus impactées				
Consommation de carburant/émissions par rapport à la base	Très petite réduction				
Impacts opérationnels					
Capacité des pistes	Améliorée				
Capacité du système ATC	Améliorée				
Complexité du système ATC (et charge de travail)	Très réduite				
Impact économique sur les compagnies	Aucun				
Impact sur les compagnies en termes de ressources	Aucun				
Complexité du pilotage	Identique				
Dépendance au type d'avion	Virage plus ou moins long selon le type d'avion				
Applicabilité					
Long-terme 10 à 20 ans, projet d'infrastructure					

Tableau 52 : Impacts du scénario 1b2.100

Les réductions de bruit globales les plus importantes parmi les sous-scénarios du scénario n°1 sont obtenues ici dans le cas d'une extension de la piste, avec un virage gauche à 700 ft, et avec 100% des départs déplacés. Le

pourcentage de réduction pour l'indicateur Lnight atteint 25%, ce qui est conséquent (car les virages gauche sont pris en compte par l'indicateur Lnight dans la période de 6h à 7h). On obtient également de fortes réductions concernant la fréquence des survols (métriques N60 et N70) le jour et la nuit, par rapport à la population totale exposée. En revanche, les communes au Sud de l'aéroport subiraient de plus fortes nuisances sonores dans ce scénario (surtout dues à l'altitude des virages gauches à 700 ft).

7.6 Scénario 2a : Extension de la nuit opérationnelle de 06h00 à 07h00

7.6.1 Remarques qui ont mené à ce scénario

La Commune de Woluwe Saint Pierre évoque les vols de nuit dans les solutions alternatives à analyser.

Les communes de Kraainem et de Wezembeek-Oppem nous demandent « *d'envisager dans le volet « mesures alternatives » de son rapport final un scénario de fermeture du trafic aérien de nuit ou, à tout le moins, la fin progressive des vols de nuit d'ici 2025* ».

Le gouvernement de la Région de Bruxelles-Capitale demande également, dans sa lettre du 11 février 2021, que soient étudiées « *la réduction voire la suppression des vols de nuit (23h-07h) et l'extension totale ou partielle de la nuit opérationnelle (de 06h à 07h)* »

7.6.2 Commentaires et faisabilité du scénario

Il est important de rappeler que la nuit opérationnelle à BRU est définie de 23h à 6h, alors que la période de nuit prise en compte dans les métriques de bruit est définie de 23h à 7h.

En 2019, le nombre d'opérations pendant la période de nuit de 23h00 à 07h00 était de 27 700, dont 10000 opérations entre 06h00 et 07h00. Une grande partie des opérations ayant lieu dans la période de forte activité de l'aéroport (à partir de 6h00) sont donc capturées dans les métriques de la base 2019 en tant qu'opérations « de nuit ». Dans ce scénario, ces opérations entre 06h00 et 07h00 sont déplacées dans la période de jour (au sens des métriques de bruit), à partir de 07h00. Cela contribuerait évidemment à la réduction de la taille des contours Lnight. Nous faisons l'hypothèse que toutes les opérations entre 6h et 7h pourraient être déplacées, mais dans la réalité ce ne sera pas le cas.

D'un point de vue opérationnel, les restrictions des vols de nuit ont une incidence particulière pour les transporteurs cargo, en particulier pour les livraisons express. En effet, le modèle d'entreprise pour le service de livraison express dont dépendent les systèmes de fabrication « juste à temps » se base sur la levée en fin de journée et la livraison matinale. Les vols de nuit sont donc essentiels pour ce modèle. Les restrictions aux vols de nuit ont également une incidence importante pour les transporteurs du réseau, car elles réduisent leur capacité d'offrir des services de liaison le matin ou le soir.

Chaque compagnie aérienne a un certain nombre d'avions dans sa flotte et son business model repose sur la maximisation du temps de vol de chaque appareil. Ainsi, chaque appareil doit effectuer le plus de vols possibles par jour sur les lignes aériennes de la compagnie. Pour que ceci soit possible, il est primordial de débiter le premier vol de chaque avion le plus tôt possible, afin d'avoir assez de temps dans la journée pour planifier suffisamment de vols par la suite et rendre l'utilisation de l'avion rentable.

Ainsi, il n'est pas rare que le premier vol d'un appareil soit prévu à 6h le matin, avec des vols prévus ensuite tout au long de la journée jusque tard le soir. Chaque retard pris dans la journée impactera les vols suivants si ce retard n'est pas rattrapé par l'équipage.

Décaler les vols du matin de 6h à 7h peut impliquer une moindre utilisation d'un avion sur la journée, celui-ci n'ayant plus la possibilité par exemple d'effectuer le dernier vol de la journée habituellement prévu. Il y a un intérêt pour les vols de 6h à 7h. Ce scénario a donc un impact fort d'un point de vue opérationnel et économique, qui peut se traduire de différentes manières :

- Une moindre attractivité de l'aéroport pour les compagnies aériennes, qui pourraient envisager de réétudier leur programme de vol afin de baser moins d'avions à Brussels-National, et donc de les faire partir tôt à 6h d'un autre aéroport, car les compagnies ont besoin de rentabiliser leurs flottes.
- Une moindre attractivité de l'aéroport pour une certaine clientèle qui a besoin d'un premier vol tôt en journée.

Les compagnies pourraient choisir de baser des opérations sur les aéroports de Liège ou d'Ostende qui sont ouverts la nuit, contrairement aux aéroports de Charleroi ou d'Anvers qui sont fermés la nuit.

Les compagnies doivent cependant également savoir, que pendant la tranche horaire de 6h à 7h, où l'aéroport fonctionne en exploitation de jour (au sens opérationnel, mais dans la législation bruxelloise cette tranche horaire fait encore partie de la nuit), les valeurs limites de bruit pour le constat des infractions sont 10 dB plus basses que pendant la période de jour.

Ainsi en 2018, 31% (soit presque un tiers) des procès-verbaux ont été émis pour la seule tranche horaire de 6h à 7h, alors qu'il y en a eu 38% pour la tranche 7h-23h et 30% pour la tranche 23h-6h. La tranche horaire 6h-7h comptabilise près de 6 vols en infraction par heure en moyenne sur la période 2005-2018, contre moins d'1 vol en infraction par heure pour les autres tranches horaires (Source : *Bruxelles-Environnement Fiche 39 : Infractions liées au bruit du trafic aérien en région de Bruxelles-Capitale*).

7.6.3 Explication du scénario modélisé

Dans ce scénario, tous les vols qui ont eu lieu entre 06h00 et 06h59 ont été décalés dans la journée, à partir de 07h00. Cela laisse un total d'à peu près 17000 vols entre 23h00 et 06h59.

7.6.4 Résultats de la modélisation

7.6.4.1 Contours Lden du scénario 2a

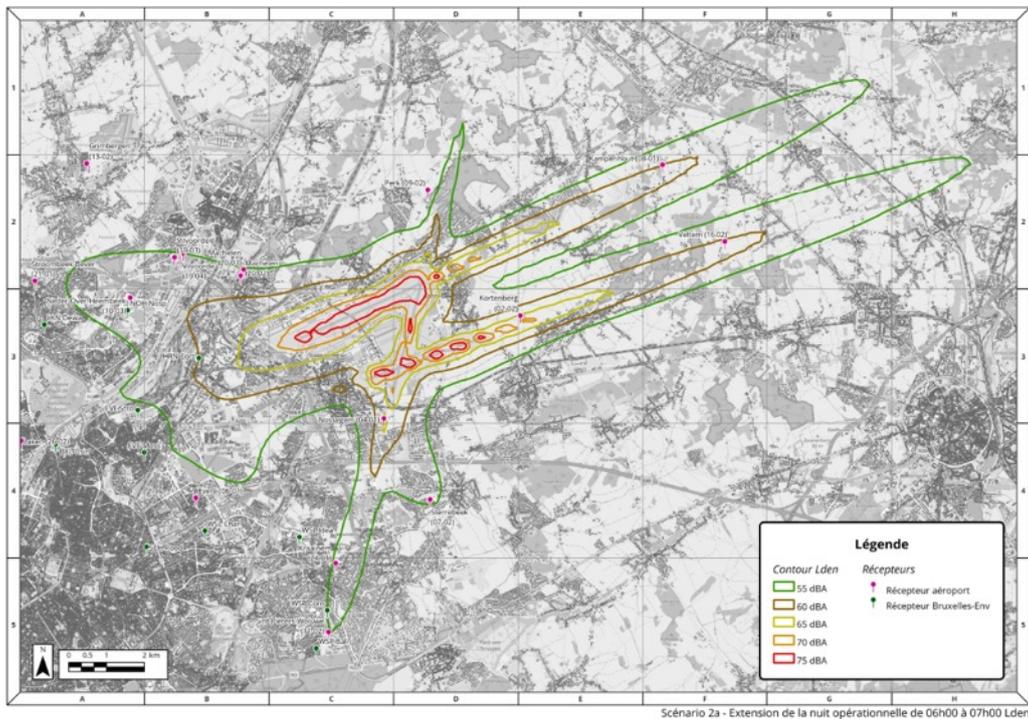


Figure 123 : Scénario 2a, Lden

7.6.4.2 Comparaison du contour Lden 55 dB du scénario 2a avec la base

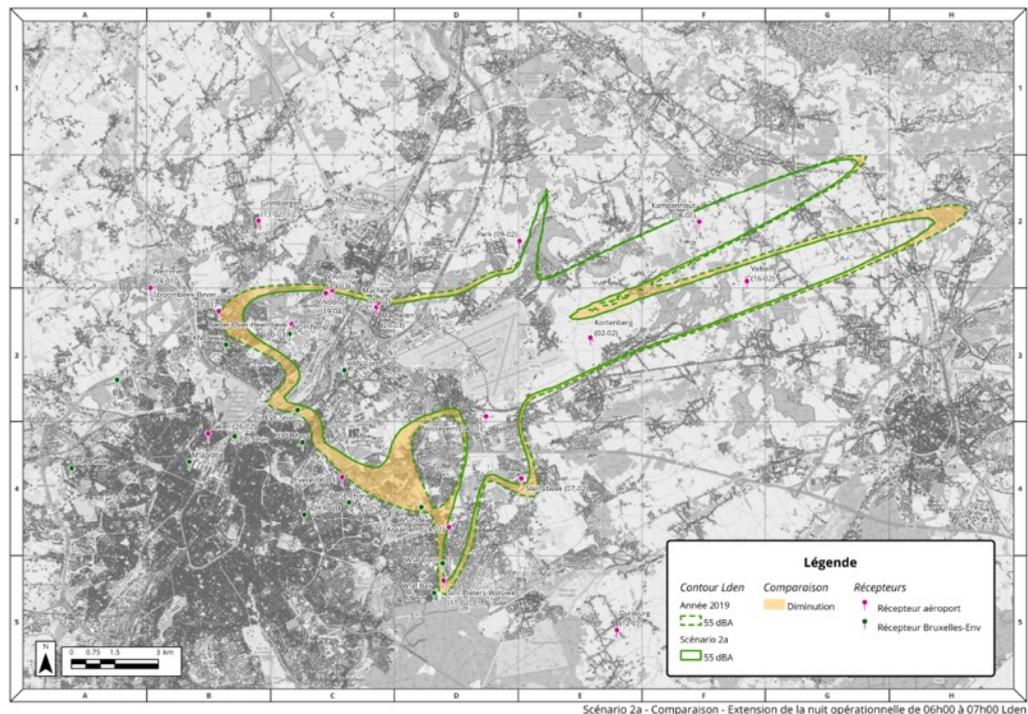


Figure 124 : Différence scénario 2a Lden par rapport au contour Lden 55 dB de la base

7.6.4.3 Contours Lnight du scénario 2a

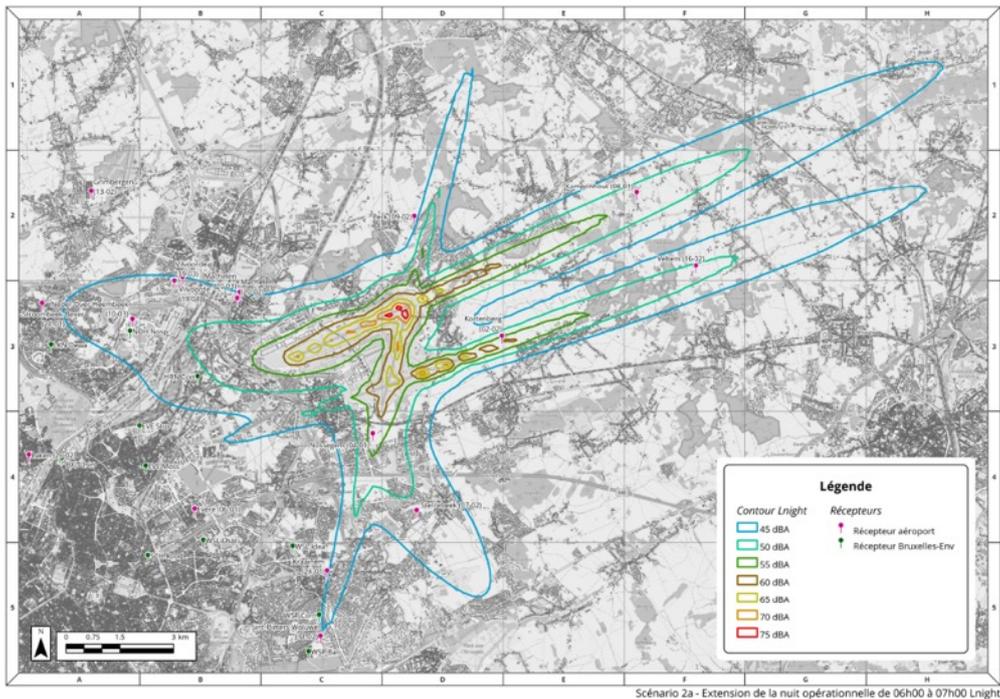


Figure 125 : Scénario 2a, Lden

7.6.4.4 Comparaison du contour Lnight 45 dB du scénario 2a avec la base

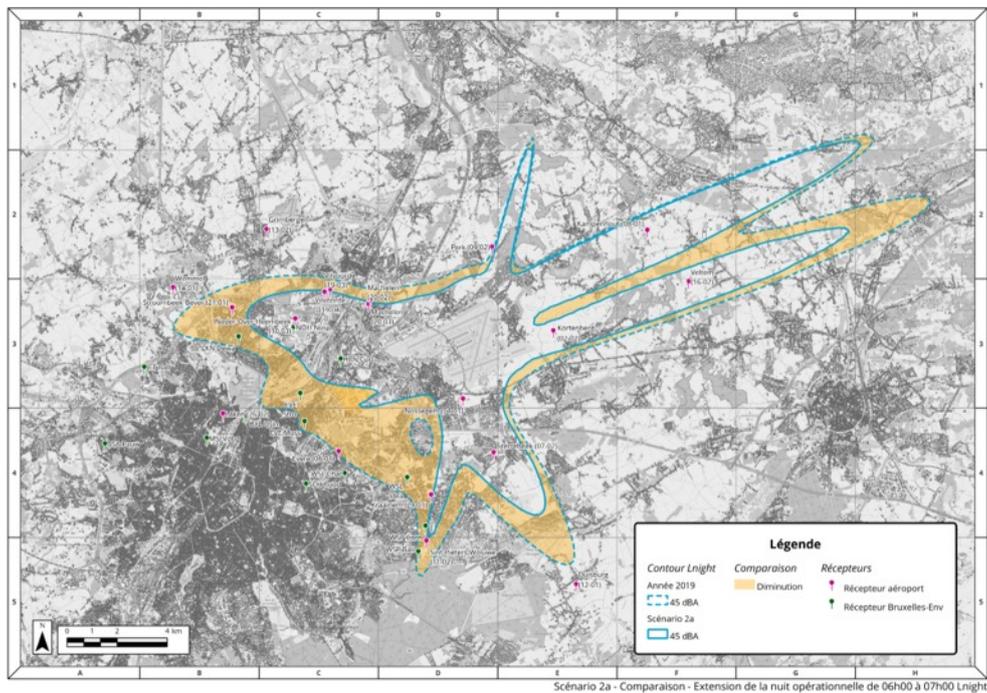


Figure 126 : Différence Scénario 2a Lnight par rapport au contour Lnight 45 dB de la base

7.6.4.5 Contours N70 night du scénario 2a

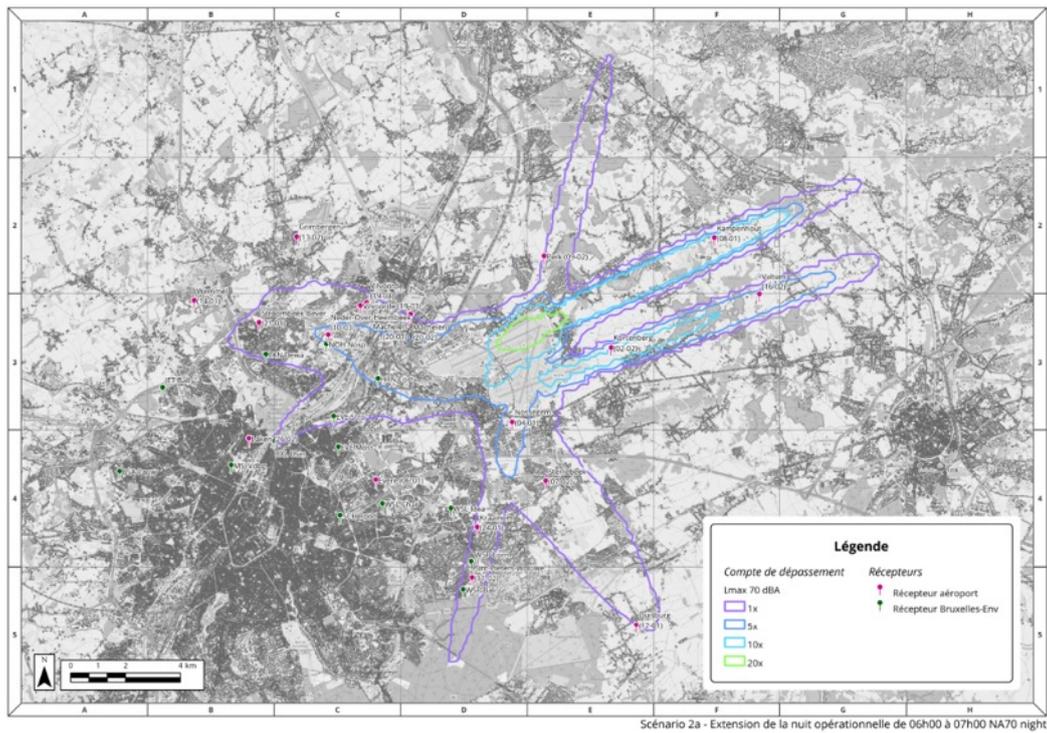


Figure 127 : Scénario 2a, N70 night

7.6.4.6 Comparaison du contour N70 night 1 évènement du scénario 2a avec la base

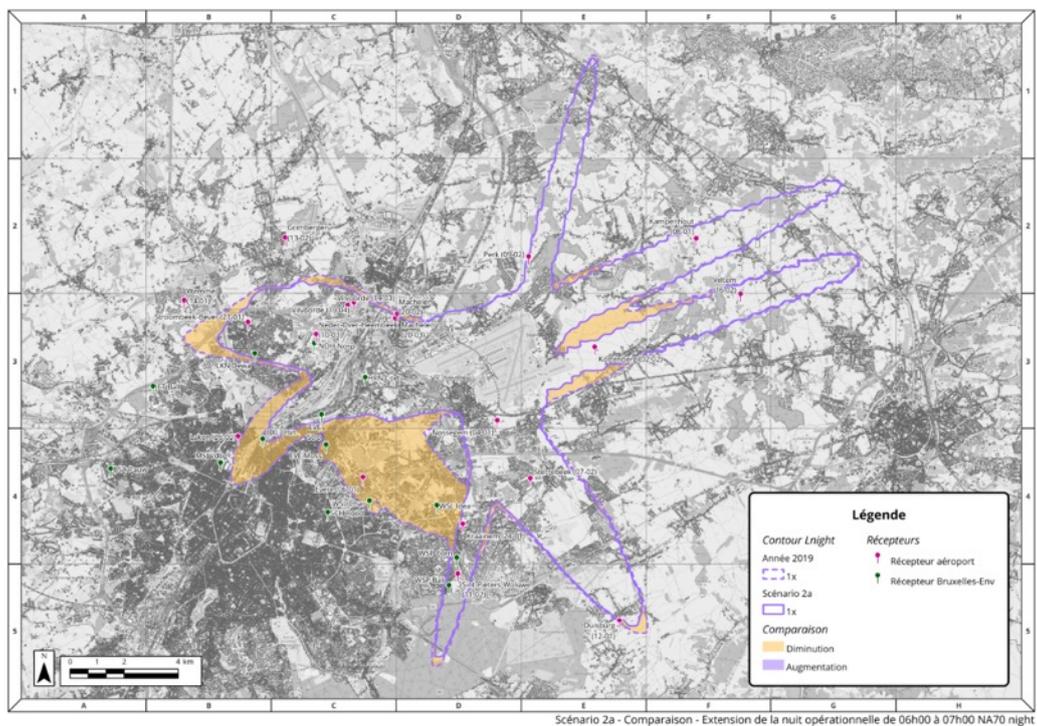


Figure 128 : Différence Scénario 2a N70 night par rapport au contour N70 night 1x de la base

7.6.5 Analyse des résultats

Scénario 2a					
Impacts environnementaux par rapport à la base 2019					
Métriques d'exposition au bruit					
Métriques		Aire exposée		Population exposée	
Métrique	Niveau de bruit (dBA)	Aire (km ²)	Changement(%)	Population	Changement(%)
Lden	55	87.7	-18.6%	73 830	-39.8%
Lnight	45	99.0	-38.5%	80 388	-62.8%
Nombre d'évènements moyen par jour au-dessus d'un niveau Lmax					
Métriques		Aire exposée		Population exposée	
		Aire (km ²)	Changement(%)	Population	Changement(%)
N60 Day + Evening (50x)		215.9	+4.3%	338 201	+5.5%
N70 Day + Evening (5x)		148.7	+2.8%	307 339	+4.9%
N60 Night (10x)		83.9	-51.6%	43 792	-76.4%
N70 Night (1x)		112.3	-23.0%	123 763	-53.7%
Estimation de la population fortement gênée					
Métriques		Population impactée			
		Population	Changement (%)		
HA (Lden 55 dBA)		19 738	-39.8%		
HSD (Lnight 45 dBA)		12 110	-62.8%		
Facteurs qualitatifs					
Prévisibilité (changement plus ou moins prévisible)		Identique			
Concentration des vols		Identique			
Nouvelles populations exposées au bruit		Non			
Consommation de carburant/émissions par rapport à la base		Certains vols ne pourront pas être reportés donc il y aura une légère diminution des émissions			
Impacts opérationnels					
Capacité des pistes		Identique			
Capacité du système ATC		Identique			
Complexité du système ATC (et charge de travail)		Charge de travail plus forte le matin			
Impact économique sur les compagnies		Fort			
Impact sur les compagnies en termes de ressources		Diminution des ressources			
Complexité du pilotage		Identique			
Dépendance au type d'avion		Vols passagers + impactés (rotations des compagnies impactées)			
Applicabilité					
Court-terme, de 0 à 5 ans					

Tableau 53 : Impacts du scénario 2a

La suppression des vols entre 6h et 7h a une forte influence sur les contours de bruit car plus de la moitié des vols de nuit (au sens de la métrique Lnight) ont lieu dans cette tranche horaire. En revanche, pour l'aéroport,

c'est à partir de 6h qu'il passe en exploitation de jour et c'est à ce moment que son activité devient importante. L'impact économique serait donc fort et en réalité un certain nombre de vols qui seraient annulés ne pourront pas être déplacés pendant la journée. Les compagnies de transport de passager auront du mal à maximiser leur nombre de rotations par jour.

7.7 Scénario 2b : Extension de la nuit opérationnelle de 06h00 à 07h00 et limite de 16 000 mouvements la nuit

7.7.1 Remarques qui ont mené à ce scénario

La Commune de Woluwe Saint Pierre évoque les vols de nuit dans les solutions alternatives à analyser.

Les communes de Kraainem et de Wezembeek-Oppem nous demandent « *d'envisager dans le volet « mesures alternatives » de son rapport final un scénario de fermeture du trafic aérien de nuit ou, à tout le moins, la fin progressive des vols de nuit d'ici 2025* ».

Le gouvernement de la Région de Bruxelles-Capitale demande également, dans sa lettre du 11 février 2021, que soient étudiées « *la réduction voire la suppression des vols de nuit (23h-07h) et l'extension totale ou partielle de la nuit opérationnelle (de 06h à 07h)* ». Il précise aussi que « *le trafic ne pourra pas dépasser les conditions d'exploitation du permis d'environnement actuel de l'aéroport délivré par la Région flamande (soit un maximum de 300.000 mouvements par an et de 16.000 mouvements de nuit)* ».

7.7.2 Commentaires et faisabilité du scénario

Les commentaires qui ont été fait pour le scénario précédent (scénario 2a) sont valables ici aussi. La limite de 16000 mouvements de nuit par an est définie dans le décret ministérielle comme applicable de 23h00 à 05h59. Pour ce scénario où la nuit opérationnelle est étendue jusqu'à 06h59, nous appliquons aussi cette limite du nombre de mouvements nocturnes jusqu'à 06h59.

7.7.3 Explication du scénario modélisé

Dans ce scénario, tous les vols qui ont eu lieu entre 06h00 et 06h59 ont été décalés dans la journée, à partir de 07h00, et un certain nombre d'opérations (environ 1000) qui avaient lieu entre 23h00 et 05h59, ont aussi été déplacées (en journée), de manière à ce que la limite des 16000 mouvements de nuit soit respectée. Comme pour le scénario précédent, c'est une hypothèse et dans la réalité tous les mouvements ne pourront pas être reportés.

7.7.4 Résultats de la modélisation

7.7.4.1 Contours Lden du scénario 2b

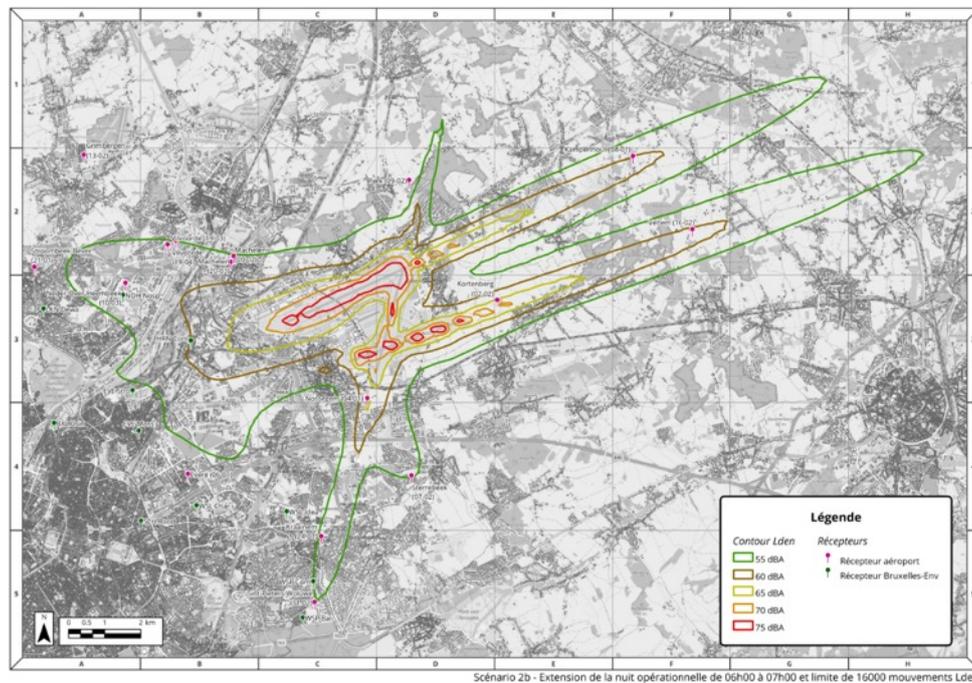


Figure 129 : Scénario 2b, Lden

7.7.4.2 Comparaison du contour Lden 55 dB du scénario 2b avec la base

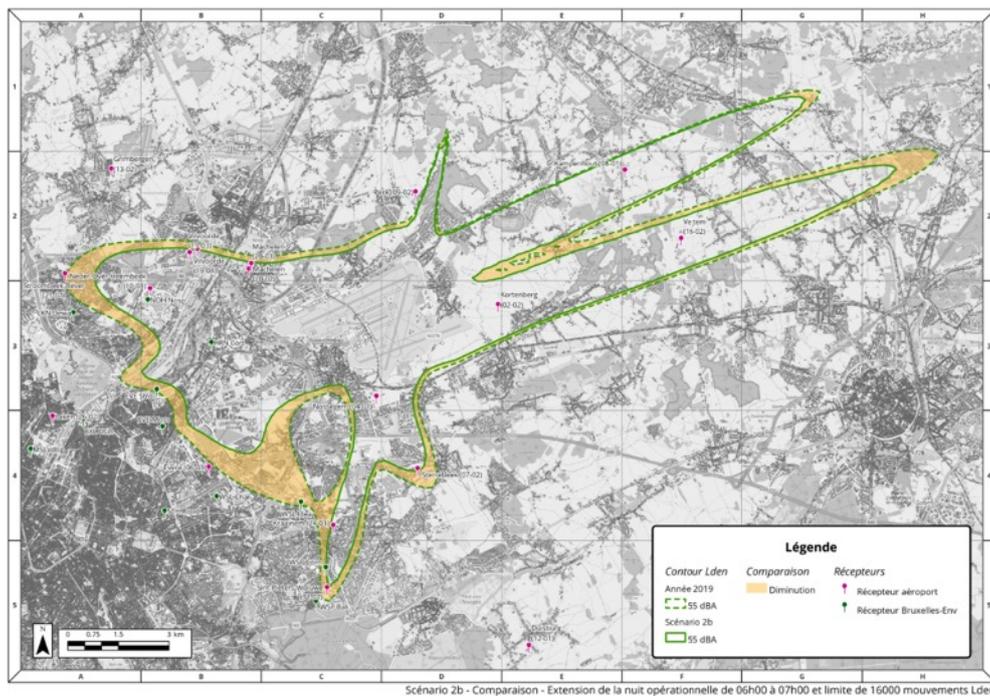


Figure 130 : Différence scénario 2b Lden par rapport au contour Lden 55 dB de la base

7.7.4.3 Contours Lnight du scénario 2b

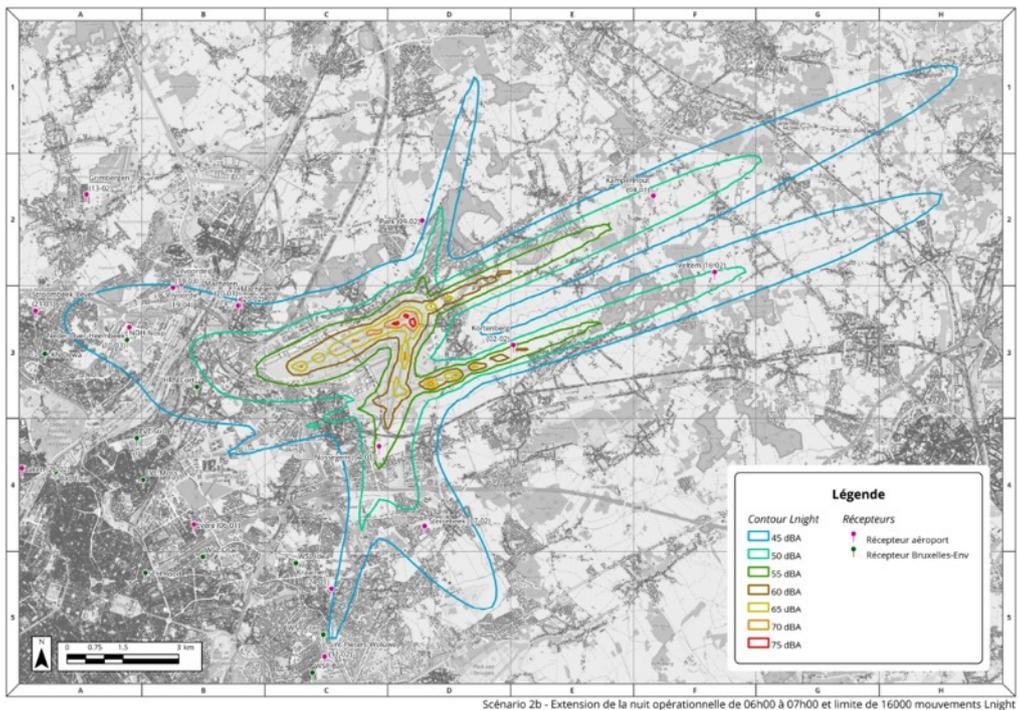


Figure 131 : Scénario 2b, Lnight

7.7.4.4 Comparaison du contour Lnight 45 dB du scénario 2b avec la base

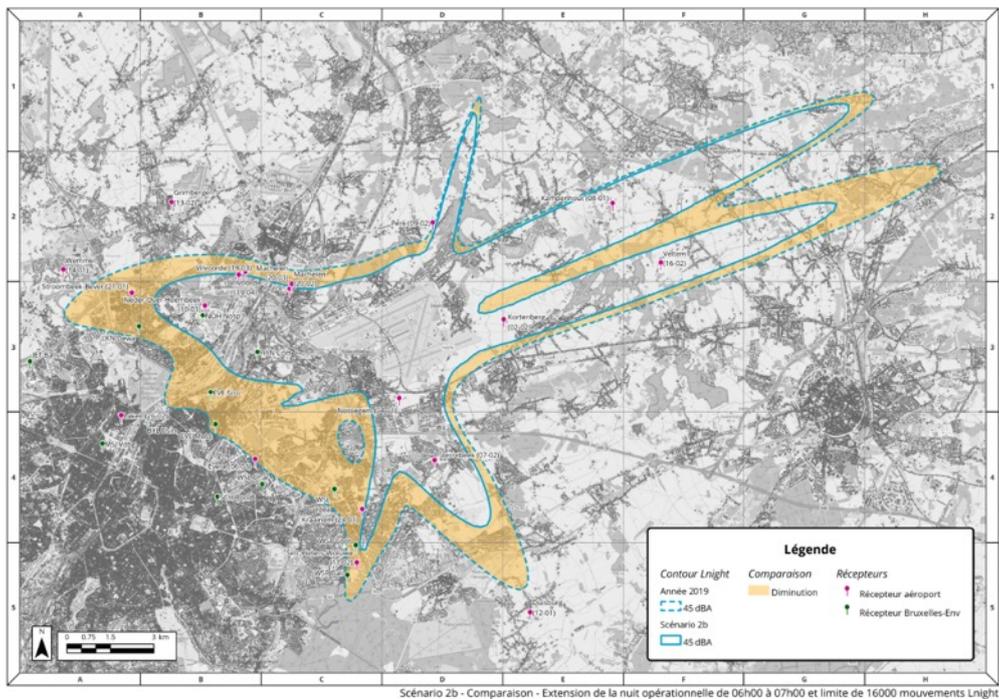


Figure 132 : Différence Scénario 2b Lnight par rapport au contour Lnight 45 dB de la base

7.7.4.5 Contours N70 night du scénario 2b

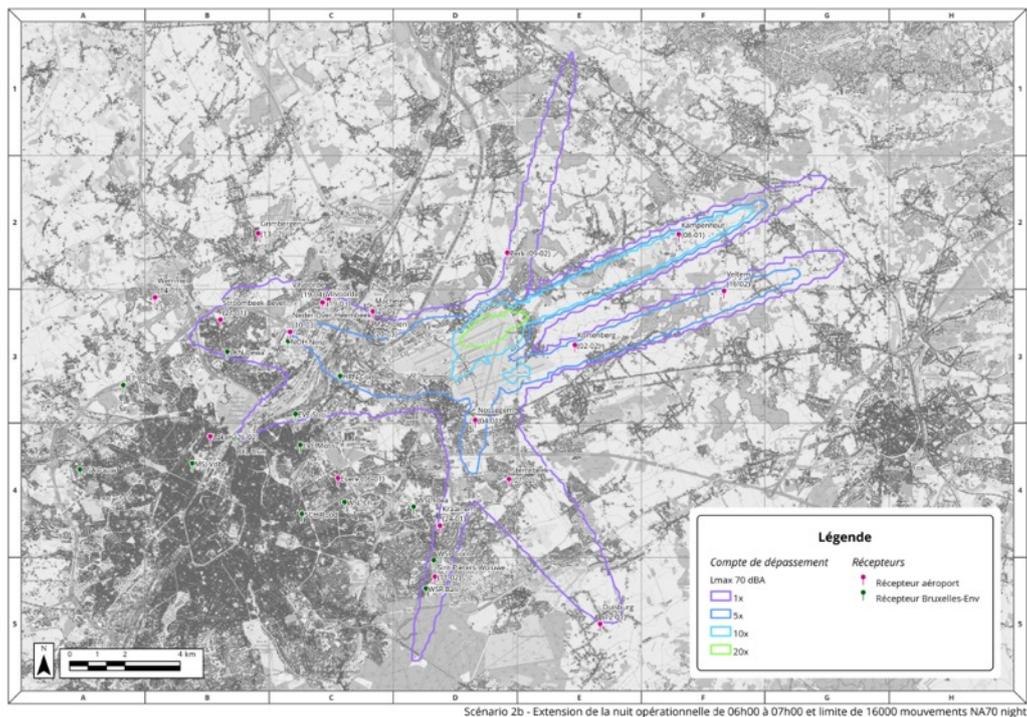


Figure 133 : Scénario 2b, N70 night

7.7.4.6 Comparaison du contour N70 night 1 événement du scénario 2b avec la base

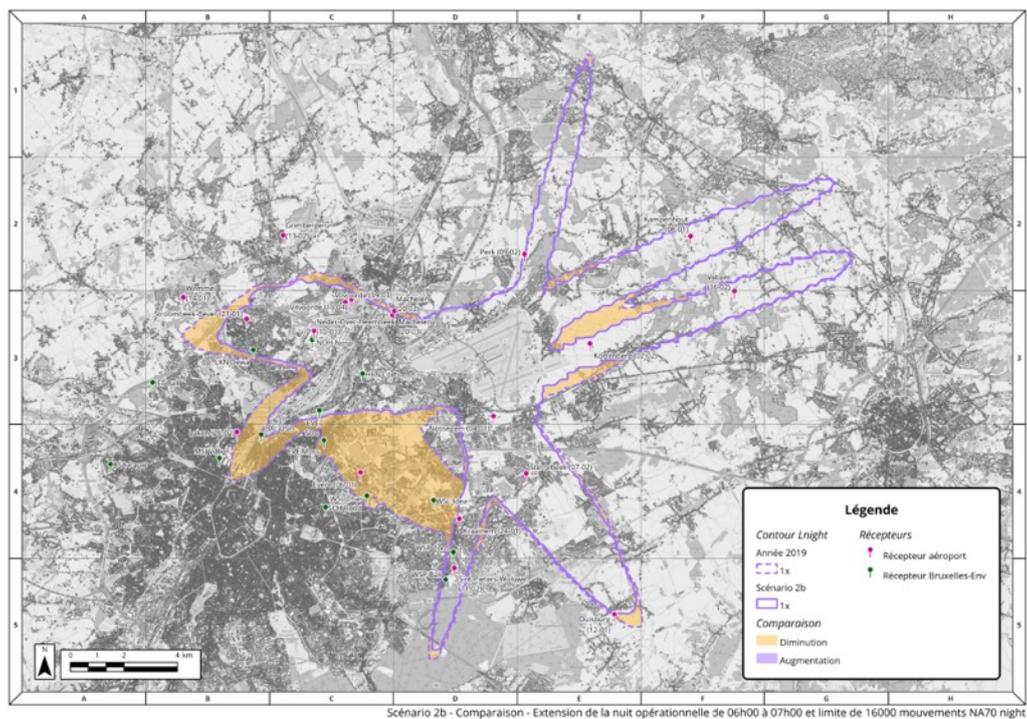


Figure 134 : Différence Scénario 2b night par rapport au contour N70 night 1x de la base

7.7.5 Analyse des résultats

Scénario 2b					
Impacts environnementaux par rapport à la base 2019					
Métriques d'exposition au bruit					
Métriques		Aire exposée		Population exposée	
Métrique	Niveau de bruit (dBA)	Aire (km ²)	Changement(%)	Population	Changement(%)
Lden	55	86.3	-19.9%	72 122	-41.1%
Lnight	45	94.5	-41.3%	75 635	-65.0%
Nombre d'évènements moyen par jour au-dessus d'un niveau Lmax					
Métriques		Aire exposée		Population exposée	
		Aire (km ²)	Changement(%)	Population	Changement(%)
N60 Day + Evening (50x)		216.7	+4.6%	338 901	+5.8%
N70 Day + Evening (5x)		149.3	+3.3%	308 216	+5.2%
N60 Night (10x)		67.9	-60.8%	35 217	-81.0%
N70 Night (1x)		110.2	-24.4%	120 433	-55.0%
Estimation de la population fortement gênée					
Métriques		Population impactée			
		Population	Changement (%)		
HA (Lden 55 dBA)		19 282	-41.1%		
HSD (Lnight 45 dBA)		11 934	-65.0%		
Facteurs qualitatifs					
Prévisibilité (changement plus ou moins prévisible)		Identique			
Concentration des vols		Identique			
Nouvelles populations exposées au bruit		Non			
Consommation de carburant/émissions par rapport à la base		Certains vols ne pourront pas être reportés donc il y aura une légère diminution des émissions			
Impacts opérationnels					
Capacité des pistes		Identique			
Capacité du système ATC		Identique			
Complexité du système ATC (et charge de travail)		Charge de travail plus forte le matin			
Impact économique sur les compagnies		Fort			
Impact sur les compagnies en termes de ressources		Diminution des ressources			
Complexité du pilotage		Identique			
Dépendance au type d'avion		Vols passagers + impactés (rotations des compagnies impactées)			
Applicabilité					
Court-terme, de 0 à 5 ans					

Tableau 54 : Impacts du scénario 2b

L'ajout d'une limite annuelle de 16 000 vols la nuit (23h – 7h) par rapport au scénario précédent 2a contribue un peu plus à la réduction du bruit la nuit. Comme pour le scénario 2a, l'impact économique serait donc fort et en réalité un certain nombre de vols qui seraient annulés ne pourront pas être déplacés pendant la journée.

7.8 Scénario 2c : Suppression des vols de nuit

7.8.1 Remarques qui ont mené à ce scénario

La Commune de Woluwe Saint Pierre évoque les vols de nuit dans les solutions alternatives à analyser.

Les communes de Kraainem et de Wezembeek-Oppem nous demandent « *d'envisager dans le volet « mesures alternatives » de son rapport final un scénario de fermeture du trafic aérien de nuit ou, à tout le moins, la fin progressive des vols de nuit d'ici 2025* ».

Dans l'ANNEXE AU COURRIER DU 15 FEVRIER 2021 du Ministre de la mobilité, référencé GG/TB/MD/Che-OUT-2160/2021, il est demandé : « *De manière globale, Envisa peut-elle étudier l'impact qu'aurait la mise en œuvre de nuits silencieuses tous les jours de la semaine au lieu de 3x/semaine pendant la période de minuit à 6h du matin et de 23h à 6h30 du matin, ceci tant au niveau de l'aéroport, que des compagnies aériennes et des activités économiques en général ?* »

Le gouvernement de la Région de Bruxelles-Capitale demande également, dans sa lettre du 11 février 2021, que soient étudiées « *la réduction voire la suppression des vols de nuit (23h-07h) et l'extension totale ou partielle de la nuit opérationnelle (de 06h à 07h)* ». Il précise aussi que « *le trafic ne pourra pas dépasser les conditions d'exploiter du permis d'environnement actuel de l'aéroport délivré par la Région flamande (soit un maximum de 300.000 mouvements par an et de 16.000 mouvements de nuit)* ».

7.8.2 Commentaires et faisabilité du scénario

Ce scénario est le cas extrême où tous les vols de nuit sont supprimés. Dans le cadre de ce scénario, la question doit être posée de la nature de cette suppression : s'agit-il d'un couvre-feu strict avec fermeture de l'aéroport ? Dans ce cas, l'aéroport ne pourrait plus servir de terrain de décollage sur d'autres vols, et un appareil arrivant en retard n'aura plus la possibilité d'atterrir à destination s'il arrive après l'heure de mise en place du couvre-feu. Cette option est utilisée sur certains aéroports européens, comme l'aéroport d'Orly. Dans cet exemple, l'aéroport de Roissy à proximité reste cependant ouvert afin d'accueillir les avions arrivant après la fermeture d'Orly. En Belgique, les aéroports de Liège ou d'Ostende pourraient également servir d'alternative en cas de retard.

7.8.3 Explication du scénario modélisé

Dans ce scénario, les vols qui ont eu lieu entre 06h00 et 06h59 ont été décalés dans la journée, à partir de 07h00, et tous les autres vols de nuit ont aussi été déplacés en soirée et en journée (25% pour la soirée et 75% pour la journée), de manière à ce qu'il n'y ait aucune opération la nuit. Par conséquent il n'y a pas de contours pour les métriques L_{night} , $L_{max\ night\ NA60}$ et $L_{max\ night\ NA70}$.

7.8.4 Résultats de la modélisation

7.8.4.1 Contours Lden du scénario 2c

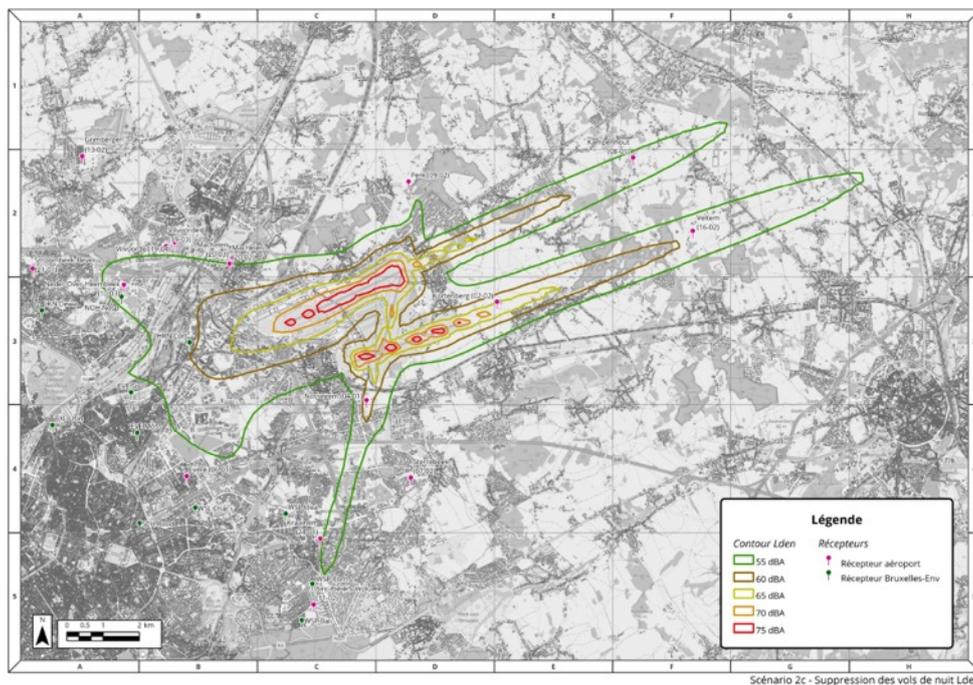


Figure 135 : Scénario 2c, Lden

7.8.4.2 Comparaison du contour Lden 55 dB du scénario 2c avec la base

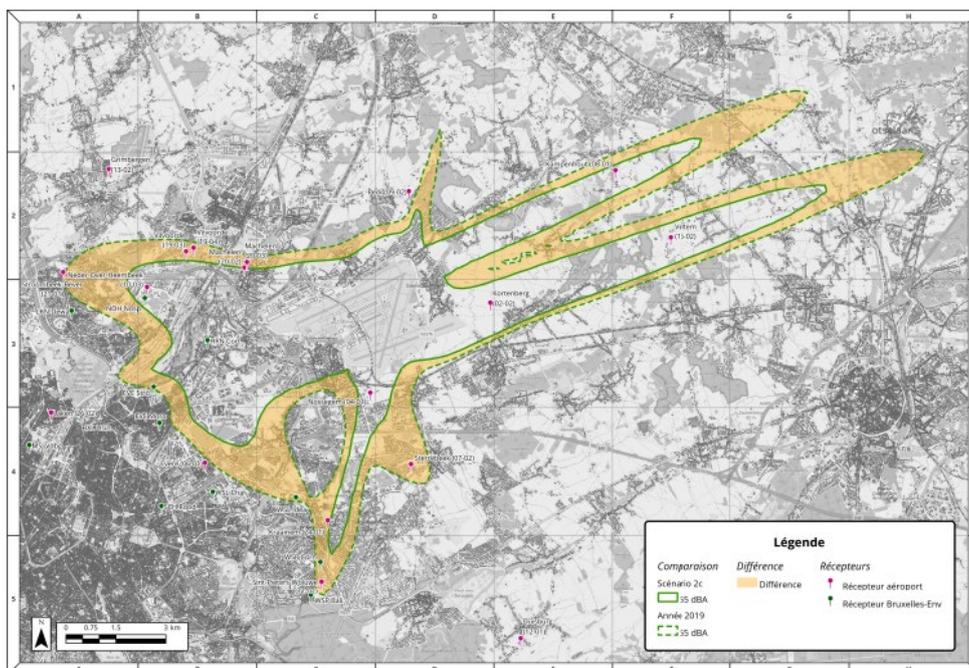


Figure 136 : Différence scénario 2c Lden par rapport au contour Lden 55 dB de la base

7.8.5 Analyse des résultats

Scénario 2c					
Impacts environnementaux par rapport à la base 2019					
Métriques d'exposition au bruit					
Métriques		Aire exposée		Population exposée	
Métrique	Niveau de bruit (dBA)	Aire (km ²)	Changement(%)	Population	Changement(%)
Lden	55	62.2	-42.3%	47 479	-61.3%
Lnight	45	0	-	0	-
Nombre d'évènements moyen par jour au-dessus d'un niveau Lmax					
Métriques		Aire exposée		Population exposée	
		Aire (km ²)	Changement(%)	Population	Changement(%)
N60 Day + Evening (50x)		229.7	+11.0%	356 562	+11.3%
N70 Day + Evening (5x)		158.8	+9.9%	323 902	+10.6%
N60 Night (10x)		0	-	0	-
N70 Night (1x)		0	-	0	-
Estimation de la population fortement gênée					
Métriques		Population impactée			
		Population	Changement (%)		
HA (Lden 55 dBA)		12 693	-61.3%		
HSD (Lnight 45 dBA)		0			
Facteurs qualitatifs					
Prévisibilité (changement plus ou moins prévisible)		Changement prévisible			
Concentration des vols		Plus de vols en journée et en soirée			
Nouvelles populations exposées au bruit		Non			
Consommation de carburant/émissions par rapport à la base		Certains vols ne pourront pas être reportés donc il y aura une légère diminution des émissions			
Impacts opérationnels					
Capacité des pistes		Identique			
Capacité du système ATC		Identique			
Complexité du système ATC (et charge de travail)		Charge de travail plus forte le matin et le soir			
Impact économique sur les compagnies		Très fort			
Impact sur les compagnies en termes de ressources		Diminution des ressources			
Complexité du pilotage		Identique			
Dépendance au type d'avion		Vols passagers et vols cargos + impactés (rotations des compagnies impactées)			
Applicabilité					
Court-terme, de 0 à 5 ans					

Tableau 55 : Impacts du scénario 2c

Dans ce scénario il n'y a pas de contours pour les métriques Lnight, N60 night et N70 night car il n'y a tout simplement pas de trafic aérien la nuit. Le report théorique de l'ensemble des vols de nuit en journée ou en soirée ne représente qu'une augmentation de 11% de la fréquence des survols jour+soir. Comme pour les scénarios précédents 2a et 2b, en réalité un certain nombre de vols qui seraient annulés ne pourront pas être déplacés pendant la journée. Cela comprend aussi les vols cargos. L'attractivité de l'aéroport pour les compagnies de transport de fret deviendrait donc faible.

7.9 **Scénario 3 : la dispersion autour des trajectoires est réduite (moins de vectoring) en utilisant dans la modélisation seulement 2 sous trajectoires (2 subtracks)**

7.9.1 **Remarques qui ont mené à ce scénario**

Ce scénario est une suggestion d'Envisa pour voir l'effet d'une dispersion réduite des trajectoires sur les contours de bruit. Il correspond tout de même à l'une des remarques du Gouvernement de la Région de Bruxelles-Capitale qui souhaite que soient étudiées des « *modifications du tracé des routes de départ : optimisation des itinéraires en termes de bruit (avec un suivi et un contrôle des trajectoires adéquats) et du nombre de personnes exposées* ».

7.9.2 **Commentaires et faisabilité du scénario**

Ce scénario implique que les procédures soient suivies plus précisément, avec moins de vectoring. On s'attend à ce que la dispersion réduite des trajectoires résulte en une réduction de la taille des contours de bruit.

Le vectoring, ou guidage radar, est utilisé par les contrôleurs aériens pour guider les avions en termes de cap, d'altitude et de vitesse. Les pilotes ne suivent donc plus les trajectoires initiales des procédures d'approche, mais sont généralement amenés directement sur un moyen d'interception de l'axe final de la piste. Pour les départs, le vectoring pur est moins utilisé, mais des « directes » vers des points peuvent être données afin de raccourcir les trajectoires.

Le vectoring est une des raisons qui peut expliquer pourquoi les avions ne suivent pas toujours les trajectoires prescrites. Il peut être initié par le contrôleur ou demandé par le pilote.

Il est important de comprendre que le vectoring est parfois absolument nécessaire d'un point de vue sécurité des vols. Par exemple, des trajectoires conflictuelles peuvent être séparées grâce à du vectoring. Un appareil trop rapide par rapport au précédent peut être éloigné grâce au vectoring. Le vectoring est un outil essentiel des contrôleurs aériens sans lequel leur travail au quotidien serait extrêmement plus compliqué.

Le vectoring ou l'attribution de routes directes est également utilisé pour raccourcir les trajectoires et réduire le temps de vol. Cependant, cela enlève les atouts des procédures qui sont conçues pour survoler des zones où la densité de population est plus faible et dans lesquelles les profils verticaux sont optimisées. Les bénéfices en termes de limitation du bruit sont donc perdus à cause du vectoring.

Priver totalement les contrôleurs et les pilotes de cet outil ne serait pas raisonnable d'un point de vue sécuritaire et opérationnel. Dans le cadre de ce scénario, nous envisageons cependant une diminution de son utilisation et donc plus de respect des trajectoires officiellement publiées, afin de réduire la dispersion des traces. Nous pensons que cette réduction de la dispersion aura un effet positif sur les contours de bruit.

Gardons également à l'esprit qu'il est impossible d'obtenir une dispersion nulle des traces radar. Même en suivant toujours la trajectoire publiée, les conditions météo, le type d'appareil et sa précision, ainsi que d'autres

contraintes extérieures ou spécifiques à un appareil provoquent une dispersion inévitable autour du tracé publié sur la carte de la procédure (voir la partie pédagogique sur la [dispersion des trajectoires](#)).

7.9.3 Explication du scénario modélisé

Par rapport au scénario de base, seulement 2 sous-trajectoires sont conservées (les 2 sous-trajectoires les plus proches de la backbone track). Les départs sont représentés en bleu et les arrivées en rouge ci-dessous.

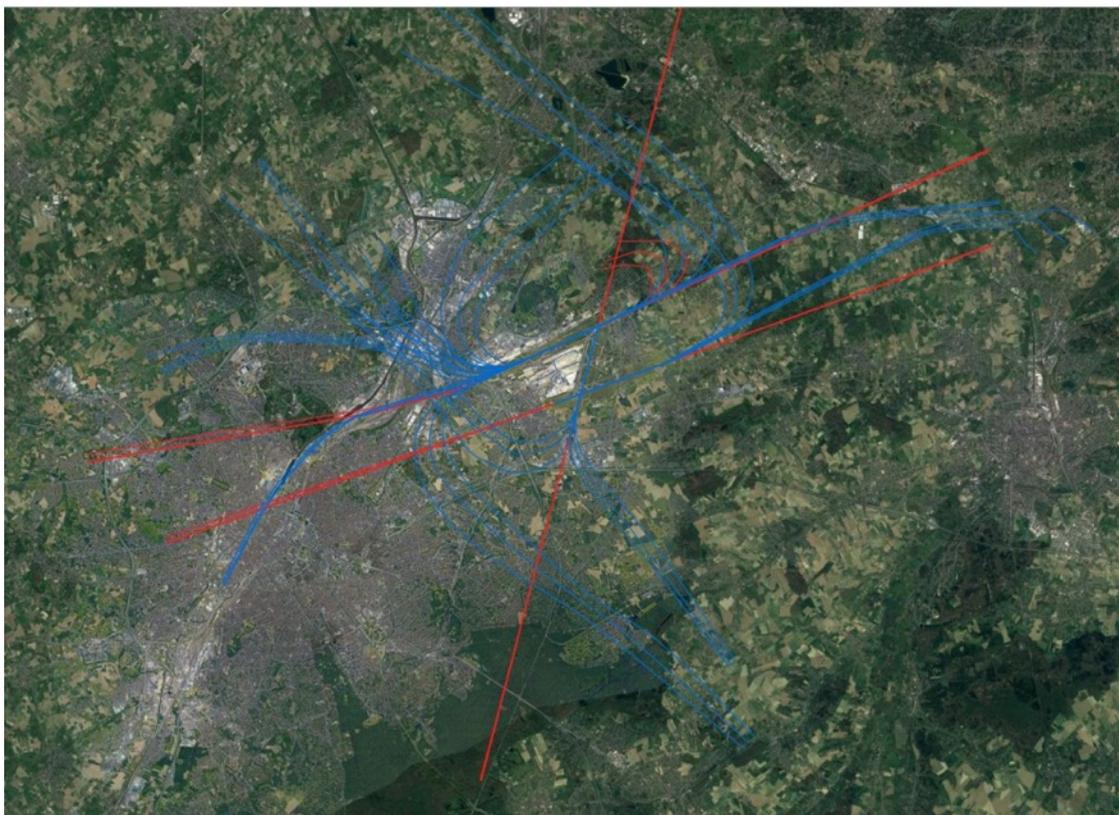


Figure 137 : Backbone tracks et subtracks pour les arrivées (rouge) et les départs (bleu) avec seulement 2 subtracks

Le pourcentage des opérations sur les trajectoires devient :

- 68,26% pour la backbone track
- 15,87% pour chacune des 2 subtracks

7.9.4 Résultats de la modélisation

7.9.4.1 Contours Lden du scénario 3

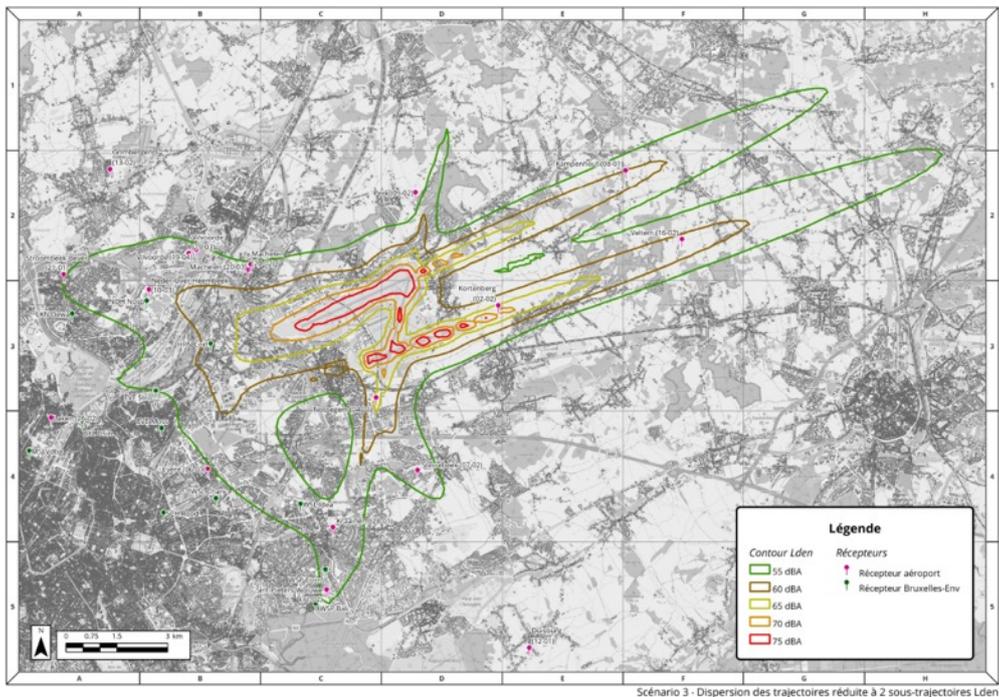


Figure 138 : Scénario 3, Lden

7.9.4.2 Comparaison du contour Lden 55 dB du scénario 3 avec la base

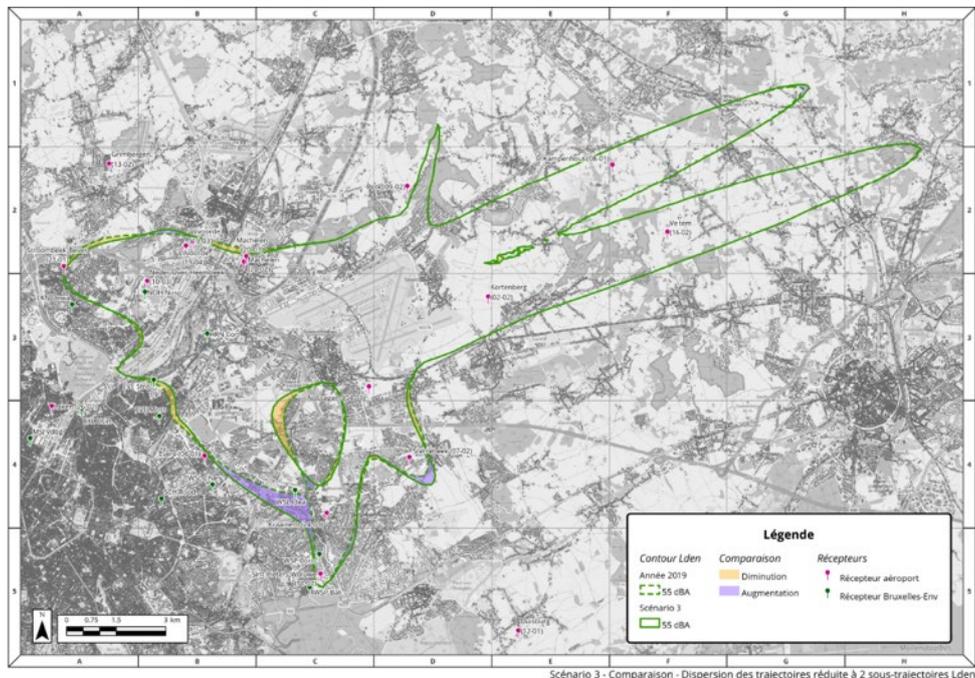


Figure 139 : Différence Scénario 3 Lden par rapport au contour Lden 55 dB de la base

7.9.4.3 Contours Lnight du scénario 3

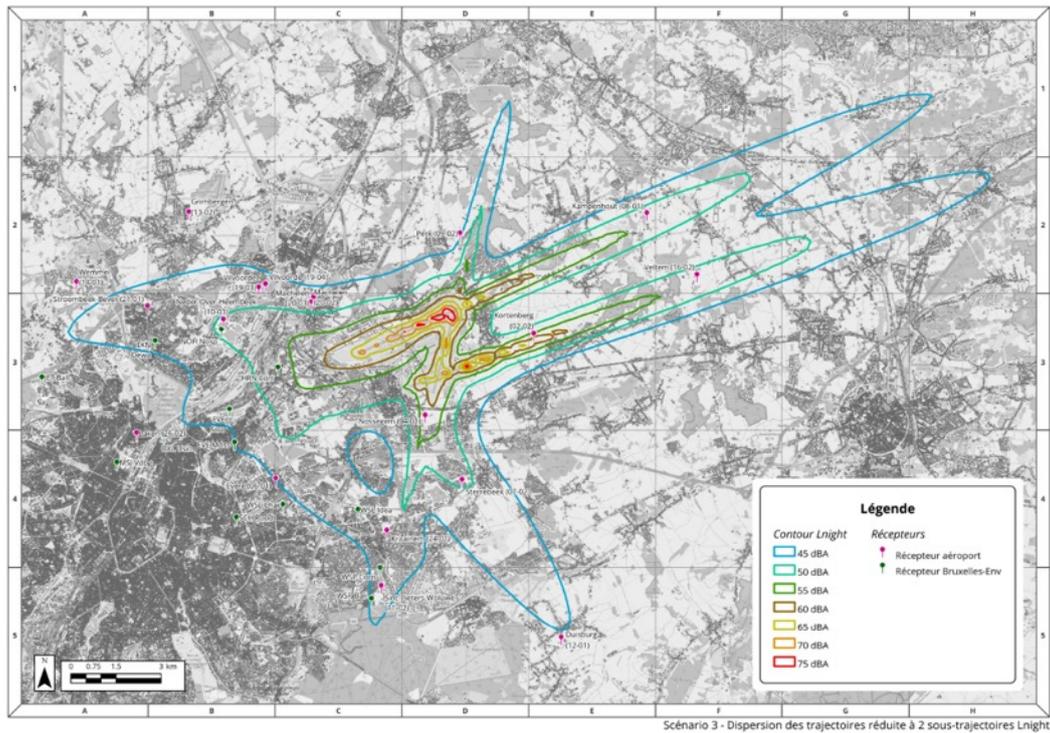


Figure 140 : Scénario 3, Lnight

7.9.4.4 Comparaison du contour Lnight 45 dB du scénario 3 avec la base

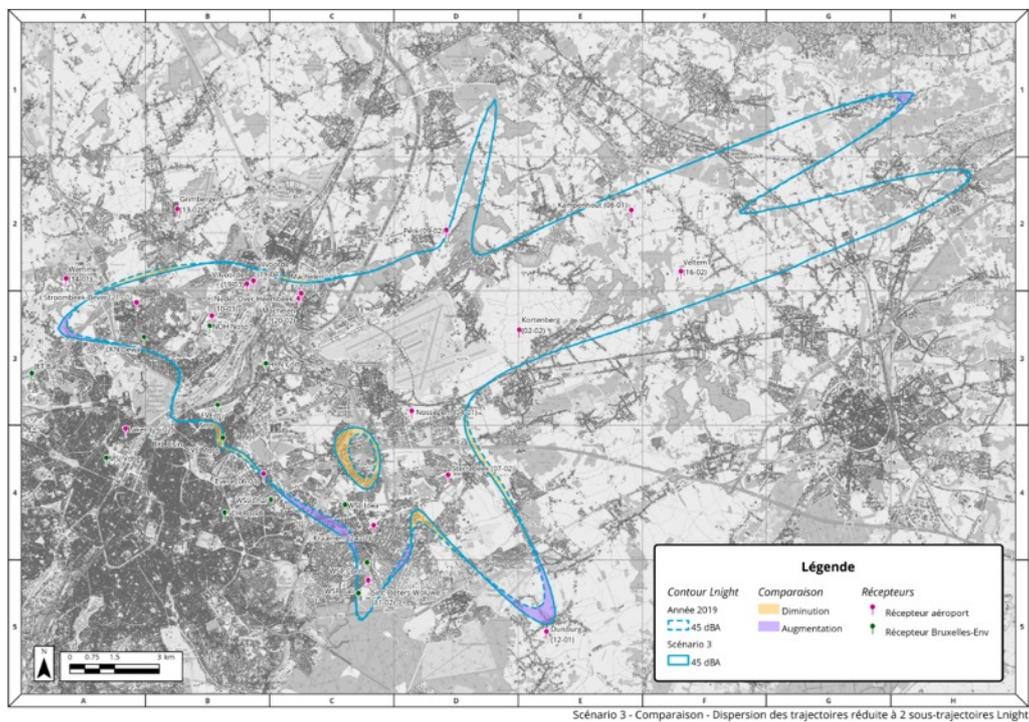


Figure 141 : Différence Scénario 3 Lnight par rapport au contour Lnight 45 dB de la base

7.9.4.5 Contours N70 night du scénario 3

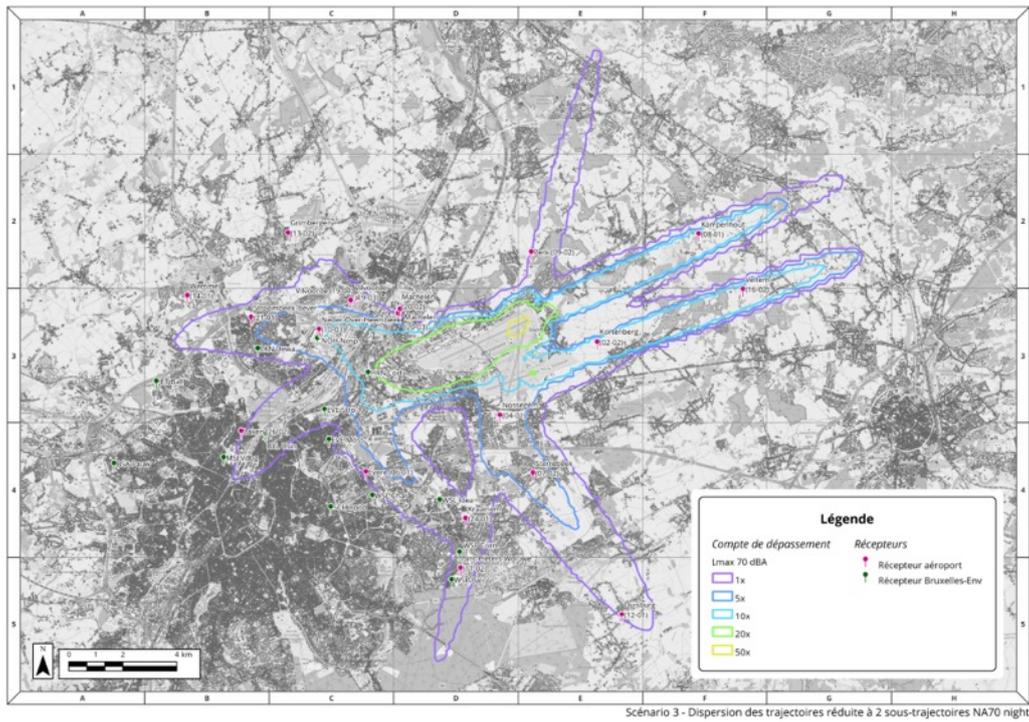


Figure 142 : Scénario 3, N70 night

7.9.4.6 Comparaison du contour N70 night 1 évènement du scénario 3a avec la base

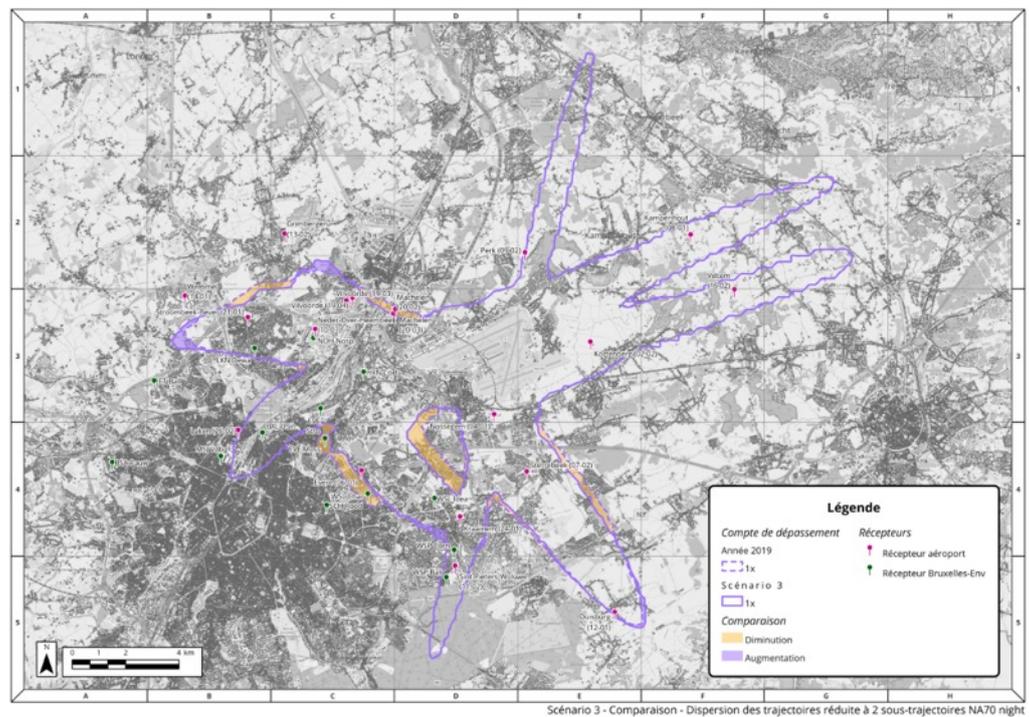


Figure 143 : Différence Scénario 3 N70 night par rapport au contour N70 night 1x de la base

7.9.5 Analyse des résultats

Scénario 3					
Impacts environnementaux par rapport à la base 2019					
Métriques d'exposition au bruit					
Métriques		Aire exposée		Population exposée	
Métrique	Niveau de bruit (dBA)	Aire (km ²)	Changement(%)	Population	Changement(%)
Lden	55	107.7	+0.1%	123 444	+0.7%
Lnight	45	160.1	-0.5%	211 551	-2.0%
Nombre d'évènements moyen par jour au-dessus d'un niveau Lmax					
Métriques		Aire exposée		Population exposée	
		Aire (km ²)	Changement(%)	Population	Changement(%)
N60 Day + Evening (50x)		203.5	-1.7%	304 573	-5.0%
N70 Day + Evening (5x)		140.4	-2.9%	261 243	-10.8%
N60 Night (10x)		179.6	+3.6%	190 798	+3.0%
N70 Night (1x)		140.1	-3.9%	238 327	-10.9%
Estimation de la population fortement gênée					
Métriques		Population impactée			
		Population	Changement (%)		
HA (Lden 55 dBA)		33 002	+0.7%		
HSD (Lnight 45 dBA)		31 870	-2.0%		
Facteurs qualitatifs					
Prévisibilité (changement plus ou moins prévisible)		Plus de prévisibilité des routes			
Concentration des vols		Plus concentrée (moins de dispersion)			
Nouvelles populations exposées au bruit		Non			
Consommation de carburant/émissions par rapport à la base		Identique			
Impacts opérationnels					
Capacité des pistes		Identique			
Capacité du système ATC		Identique			
Complexité du système ATC (et charge de travail)		Moins complexe, charge de travail réduite			
Impact économique sur les compagnies		Aucun			
Impact sur les compagnies en termes de ressources		Aucun			
Complexité du pilotage		Moins complexe car moins de guidage			
Dépendance au type d'avion		Non			
Applicabilité					
Court-terme, de 0 à 5 ans					

Tableau 56 : Impacts du scénario 3

Dans la modélisation, la réduction du vectoring s'applique en réduisant la dispersion autour des trajectoires principales. L'effet est donc plus important pour les routes de départ qui sont à l'origine plus dispersées. On

n'observe pas de changement significatif pour les métriques Lden et Lnight, en revanche on peut voir une réduction de 10% pour les métriques N70 day-evening (5x) et N70 night (1x), ce qui veut dire que 10% de la population n'est plus touchée par plus de 5 évènements dont le niveau sonore maximale dépasse 70 dB(A) pendant le jour et le soir, et 10% de la population n'est plus touchée par 1 évènement dépassant 70 dB(A) la nuit. Dans la réalité, la diminution du vectoring doit aussi empêcher les quelques avions déviés en dehors des routes d'arrivée.

7.10 Scénario 4 : la dispersion autour des trajectoires est réduite (moins de vectoring) en utilisant dans la modélisation seulement les trajectoires principales (backbone tracks)

7.10.1 Remarques qui ont mené à ce scénario

Ce scénario est une suggestion d'Envisa pour évaluer l'effet d'une dispersion réduite des trajectoires sur les contours de bruit. Il correspond tout de même à l'une des remarques du Gouvernement de la Région de Bruxelles-Capitale qui souhaite que soient étudiées des « *modifications du tracé des routes de départ : optimisation des itinéraires en termes de bruit (avec un suivi et un contrôle des trajectoires adéquats) et du nombre de personnes exposées ;* ».

7.10.2 Commentaires et faisabilité du scénario

Ce scénario implique que les procédures soient suivies plus précisément, avec moins de vectoring. On s'attend à ce que la dispersion réduite des trajectoires résulte en une réduction de la taille des contours de bruit, qui serait encore plus marquée par rapport au scénario précédent.

Les remarques apportées au sujet du vectoring dans le scénario 3 précédent s'appliquent également ici et doivent être prises en compte par le lecteur.

7.10.3 Explication du scénario modélisé

Par rapport au scénario de base, seulement les trajectoires principales sont conservées (les backbone tracks). Les départs sont représentés en bleu et les arrivées en rouge ci-dessous.

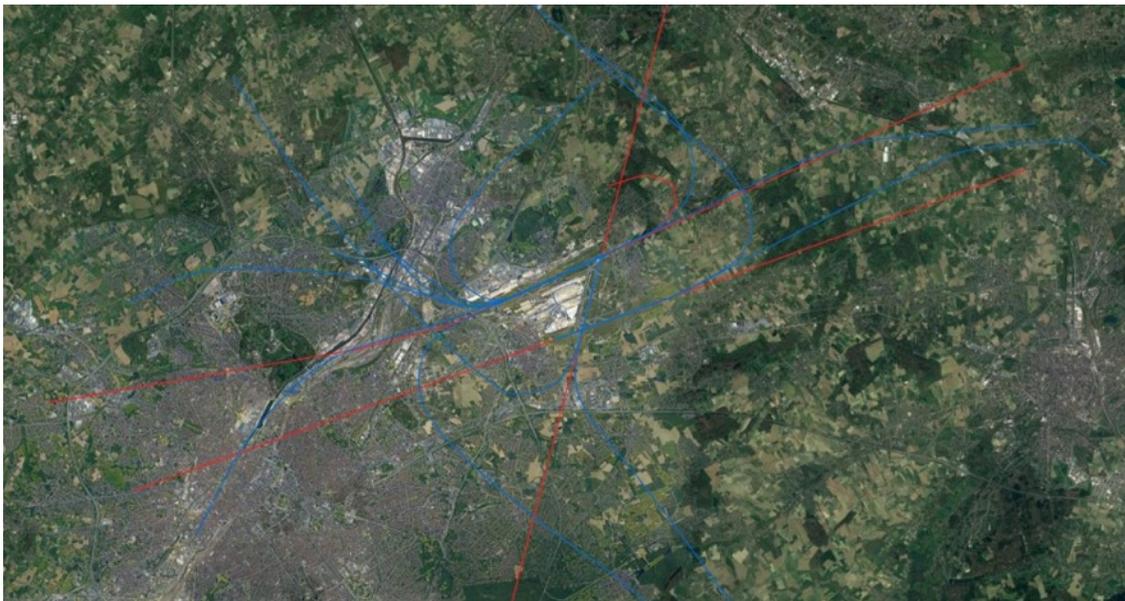


Figure 144 : Backbone tracks uniquement pour la modélisation du scénario 4

Le pourcentage des opérations sur les trajectoires est alors de 100%.

7.10.4 Résultats de la modélisation

7.10.4.1 Contours Lden du scénario 4

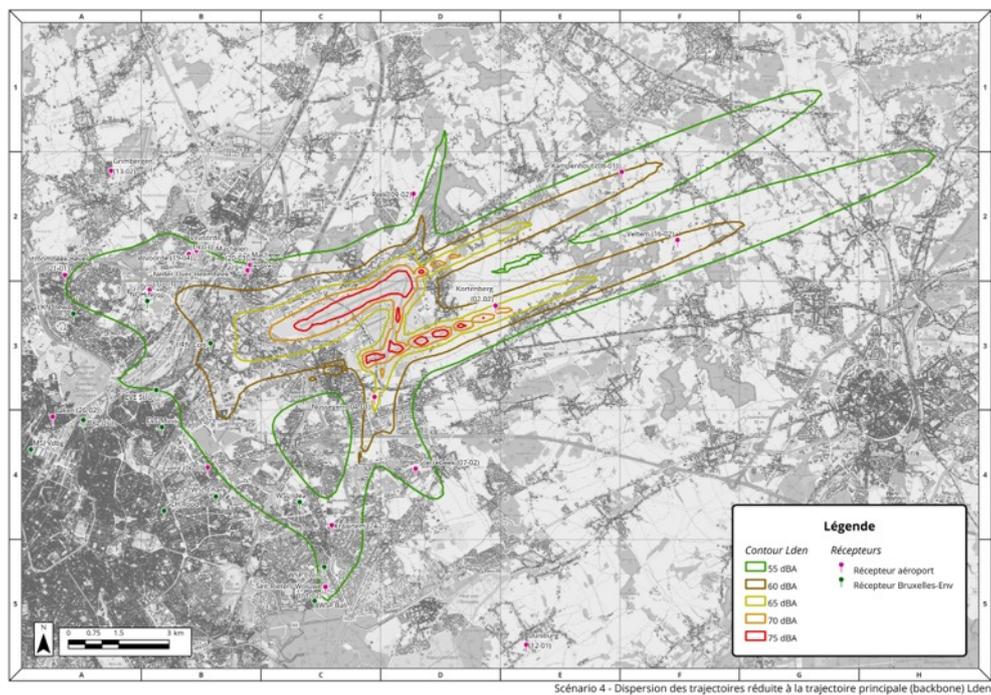


Figure 145 : Scénario 4, Lden

7.10.4.2 Comparaison du contour Lden 55 dB du scénario 4 avec la base

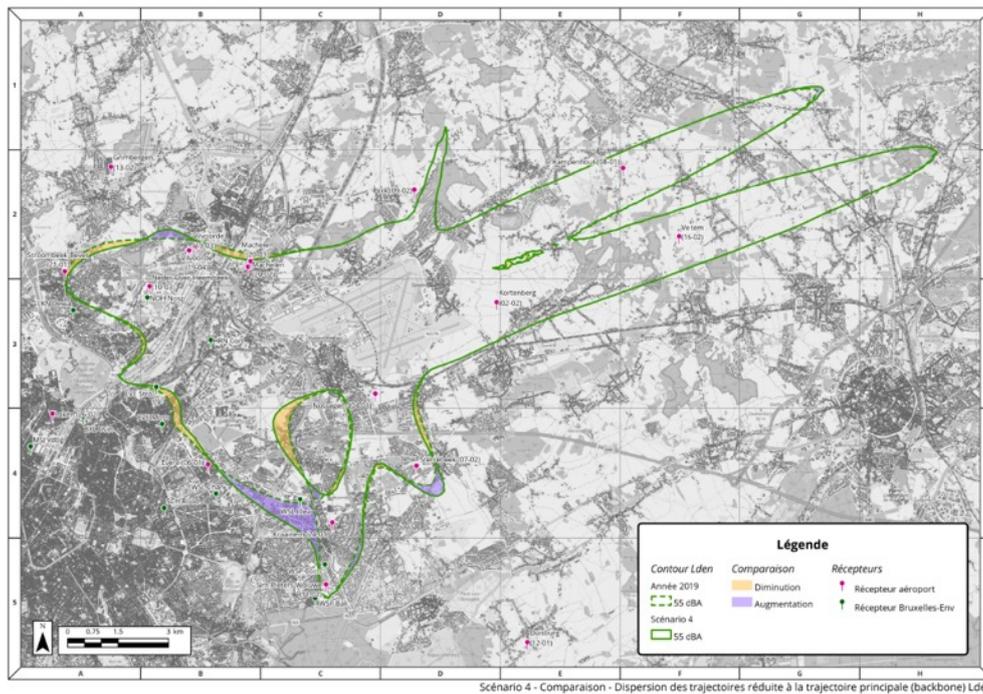


Figure 146 : Différence scénario 4 Lden par rapport au contour Lden 55 dB de la base

7.10.4.3 Contours Lnight du scénario 4

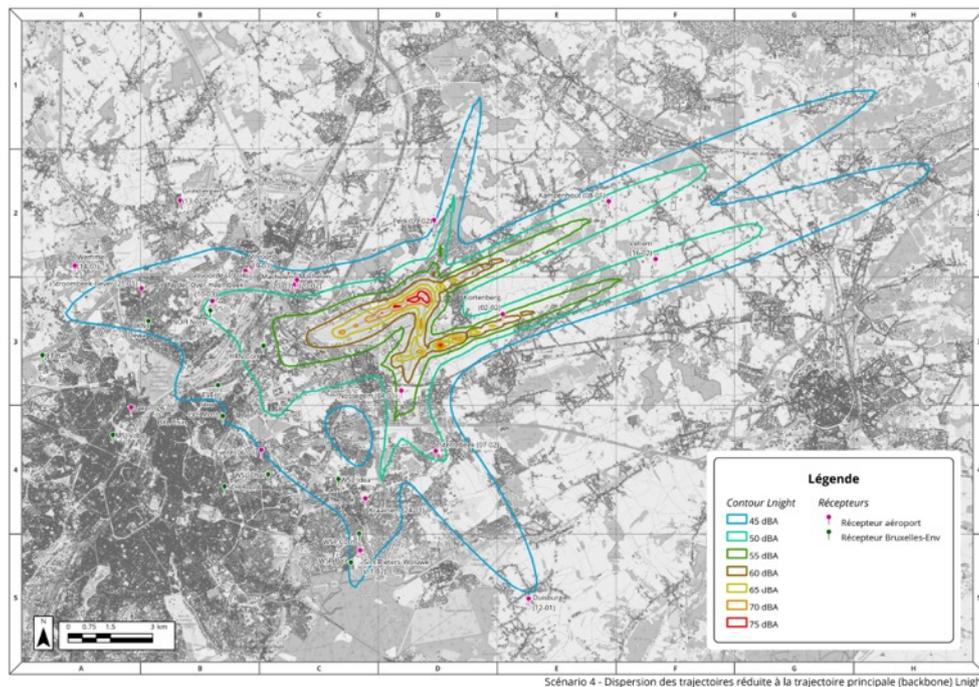


Figure 147 : Scénario 4, Lden

7.10.4.4 Comparaison du contour Lnight 45 dB du scénario 4 avec la base

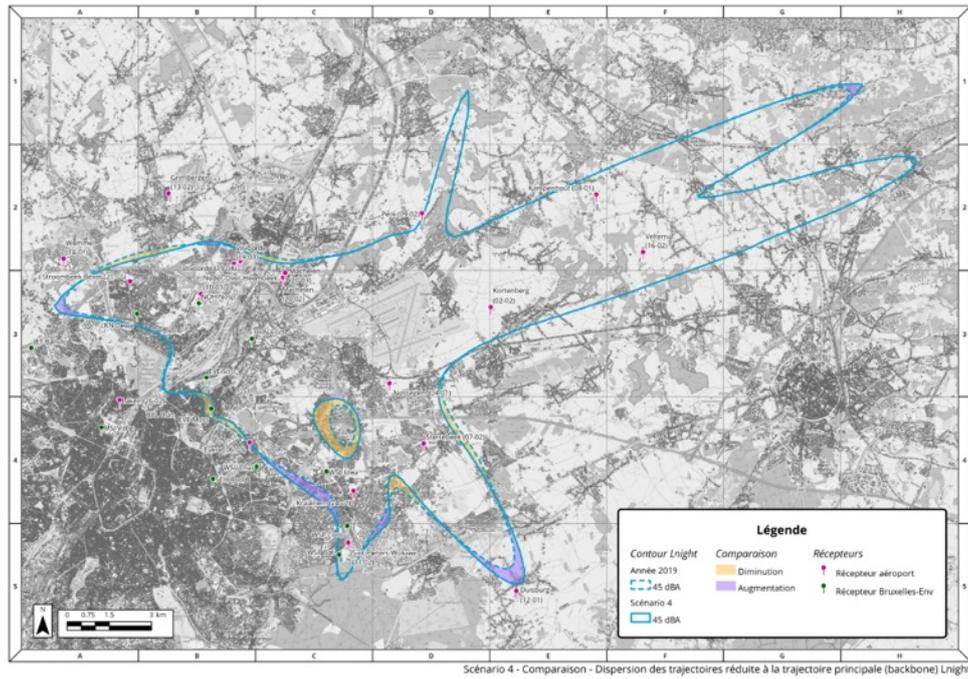


Figure 148 : Différence Scénario 4 Lnight par rapport au contour Lnight 45 dB de la base

Contours N70 night du scénario 4

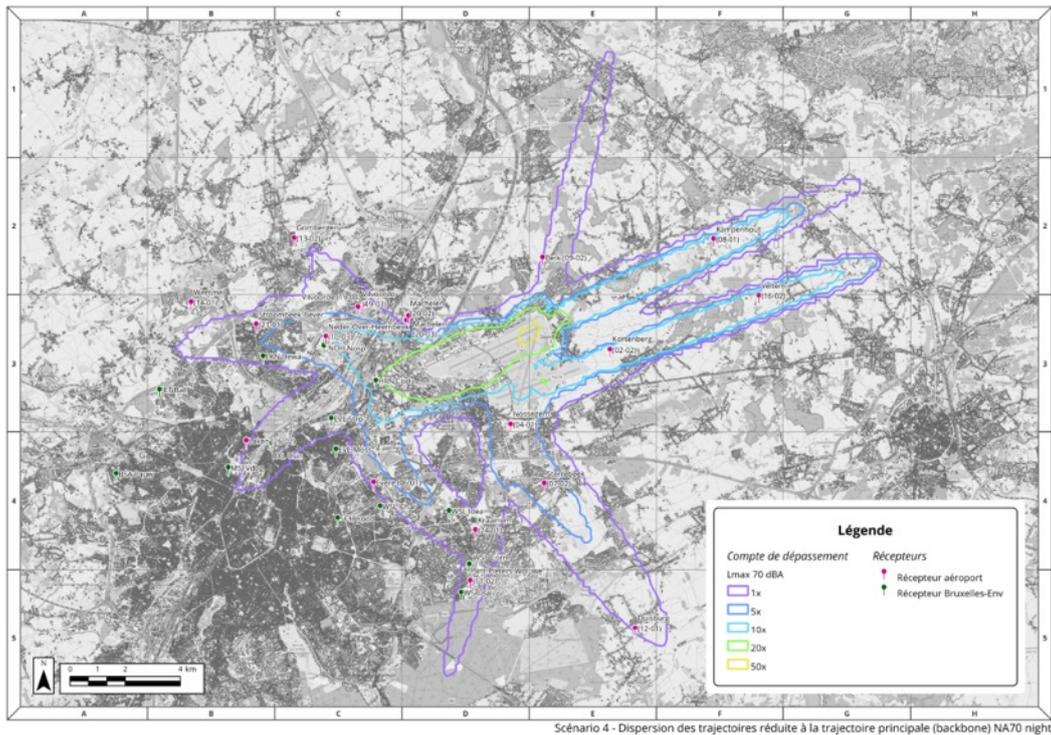


Figure 149 : Scénario 4, N70 night

7.10.4.5 Comparaison du contour N70 night 1 événement du scénario 4 avec la base

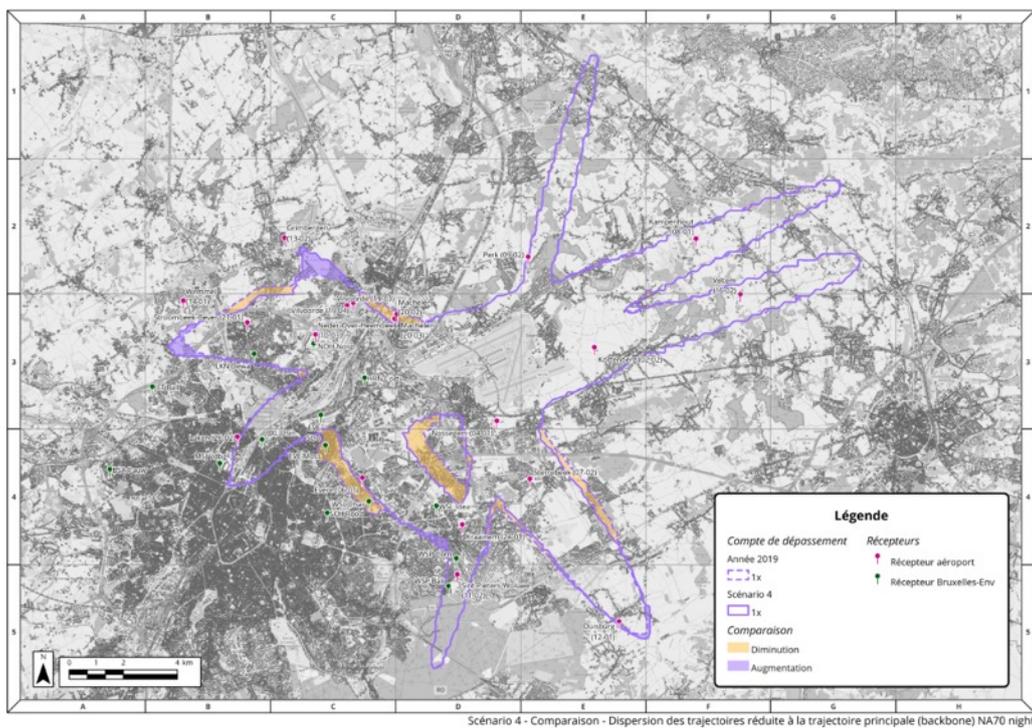


Figure 150 : Différence Scénario 4 N70 night par rapport au contour N70 night 1x de la base

7.10.5 Analyse des résultats

Scénario 4					
Impacts environnementaux par rapport à la base 2019					
Métriques d'exposition au bruit					
Métriques		Aire exposée		Population exposée	
Métrique	Niveau de bruit (dBA)	Aire (km ²)	Changement(%)	Population	Changement(%)
Lden	55	107.4	-0.3%	122 263	-0.2%
Lnight	45	159.5	-0.9%	209 151	-3.1%
Nombre d'évènements moyen par jour au-dessus d'un niveau Lmax					
Métriques		Aire exposée		Population exposée	
		Aire (km ²)	Changement(%)	Population	Changement(%)
N60 Day + Evening (50x)		201.5	-2.7%	299 282	-6.6%
N70 Day + Evening (5x)		139.6	-3.4%	250 384	-14.5%
N60 Night (10x)		179.1	+3.3%	190 315	+2.7%
N70 Night (1x)		139.4	-4.4%	233 948	-12.6%
Estimation de la population fortement gênée					
Métriques		Population impactée			
		Population	Changement (%)		
HA (Lden 55 dBA)		32 687	-0.2%		
HSD (Lnight 45 dBA)		31 509	-3.1%		
Facteurs qualitatifs					
Prévisibilité (changement plus ou moins prévisible)		Plus de prévisibilité des routes			
Concentration des vols		Plus concentrée (moins de dispersion)			
Nouvelles populations exposées au bruit		Non			
Consommation de carburant/émissions par rapport à la base		Identique			
Impacts opérationnels					
Capacité des pistes		Identique			
Capacité du système ATC		Identique			
Complexité du système ATC (et charge de travail)		Moins complexe, charge de travail réduite			
Impact économique sur les compagnies		Aucun			
Impact sur les compagnies en termes de ressources		Aucun			
Complexité du pilotage		Moins complexe car moins de guidage			
Dépendance au type d'avion		Non			
Applicabilité					
Court-terme, de 0 à 5 ans					

Tableau 57 : Impacts du scénario 4

Ici par rapport au scénario précédent, un suivi encore plus rigoureux des routes de départ n'améliore qu'un petit peu le nombre de personnes exposées au bruit. Le respect des routes établies empêcherait néanmoins les

survol anormal de se produire. Comme pour le scénario précédent, la charge de travail pour les contrôleurs est allégée.

7.11 Scénario 5 : Décollage de la piste 25R depuis le seuil physique de la piste

7.11.1 Remarques qui ont mené à ce scénario

Dans l'ANNEXE AU COURRIER DU 15 FEVRIER 2021 du Ministre de la mobilité, référencé GG/TB/MD/Che-OUT-2160/2021, il est demandé que soit étudié : « *Le décollage de la 25R depuis le seuil physique de la piste applicable à certaines périodes de la journée et de la semaine et en fonction des configurations de pistes, et ceci en lieu et place du décollage depuis le seuil déplacé de la piste. ;* ».

Le gouvernement de la Région de Bruxelles-Capitale demande également, dans sa lettre du 11 février 2021, que soient étudiées des « *modifications de l'utilisation des pistes au décollage* ».

7.11.2 Commentaires et faisabilité du scénario

Les courses de décollage sur la piste 25R s'effectuent à partir du seuil déplacé de la piste, ce qui évite de croiser la piste 01/19.

Si les décollages avaient lieu depuis le seuil physique de la piste, c'est-à-dire 300 mètres plus tôt, comme sur la capture suivante, et si les avions utilisaient la même poussée, leur altitude serait plus haute par rapport à un décollage depuis le seuil déplacé. Cela aurait un impact positif sur le bruit (on s'attend à une réduction de la taille des contours).



Figure 151 : Seuil physique et seuil déplacé de la piste 25R

L'inconvénient est que pour rejoindre le seuil physique de la piste 25R, les avions doivent emprunter les taxiways W3 et W4, ce qui nécessite de traverser la piste 01/19 (voir capture ci-dessous). Pour les périodes où les pistes 25R et 19 sont utilisées conjointement, par exemple le lundi, mardi, mercredi et jeudi dans la nuit, ou le samedi et dimanche en journée, cela pourrait être problématique du point de vue de la capacité aéroportuaire. La solution serait alors d'utiliser la piste 25R pour tous les départs durant cette période, mais cela enlèverait la dispersion des décollages originalement voulue. Les communes au Sud de l'aéroport profiteraient néanmoins de ce changement.



Figure 152 : Taxiways menant à la piste 25R

Tout comme pour le scénario 1b1, dans la réalité, toutes les trajectoires ne seront pas « déplacées » de 300 m. En effet, chaque équipage a pour optique d'optimiser les performances de son appareil selon les conditions du jour afin de réduire la consommation de carburant et l'usure des moteurs. En décollant du bout de piste, la longueur de piste disponible augmente, et certains avions auront ainsi la possibilité d'appliquer une poussée plus réduite au décollage. Leur altitude par rapport à la situation actuelle évoluera moins, voire pas du tout. Cependant, comme la poussée sera légèrement réduite, le bruit généré sera relativement moins fort, ce qui aura quand même un impact positif. Il est cependant difficile d'estimer cette proportion.

7.11.3 Explication du scénario modélisé

Dans AEDT nous avons l'option de modifier le seuil déplacé de la piste, ce que nous avons fait en mettant la valeur à 0, pour que cela représente les décollages à partir du seuil physique de la piste. Cette modification s'applique à toutes les opérations, donc tous les décollages de la piste 25R ont été modélisés à partir du seuil physique de la piste dans ce scénario (soit 96 700 départs).

La proportion de vols utilisant la longueur de piste disponible supplémentaire pour réduire la poussée n'étant pas connu, nous la considérons nulle. Mais comme écrit précédemment, le bénéfice de cette réduction de poussée en termes de bruit compenserait le gain d'altitude qui ne serait pas atteint.

7.11.4 Résultats de la modélisation

7.11.4.1 Contours Lden du scénario 5

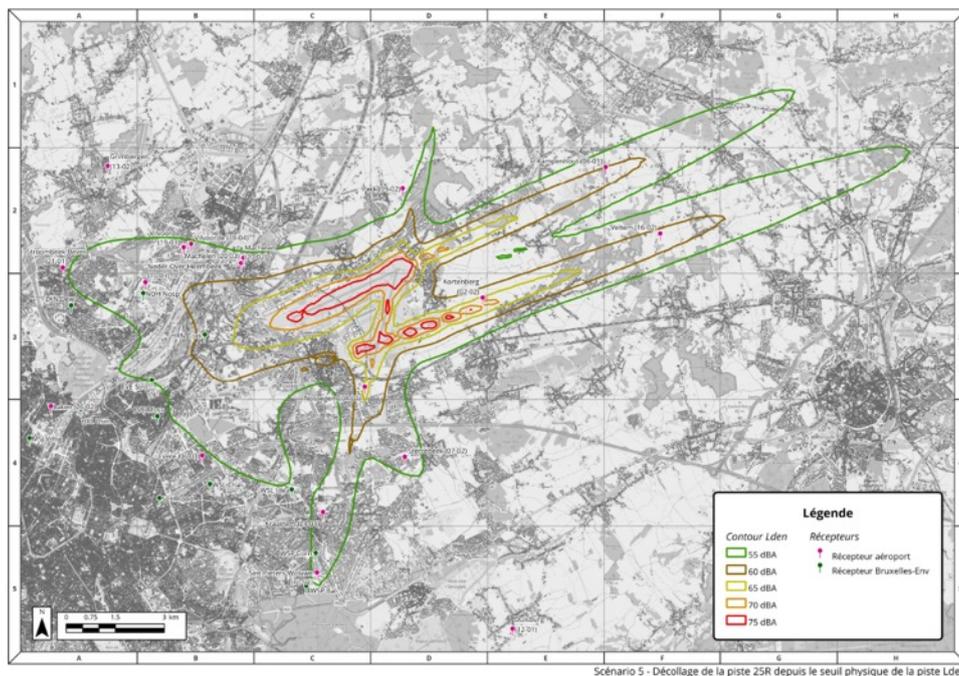


Figure 153 : Scénario 5, Lden

7.11.4.2 Comparaison du contour Lden 55 dB du scénario 5 avec la base

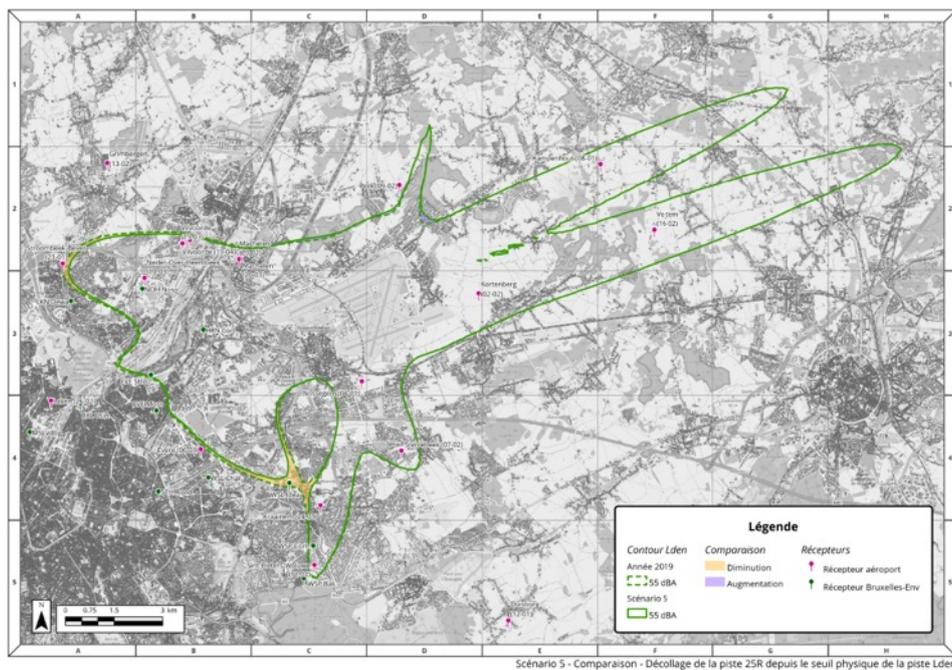


Figure 154 : Différence scénario 5 Lden par rapport au contour Lden 55 dB de la base

7.11.4.3 Contours Lnight du scénario 5

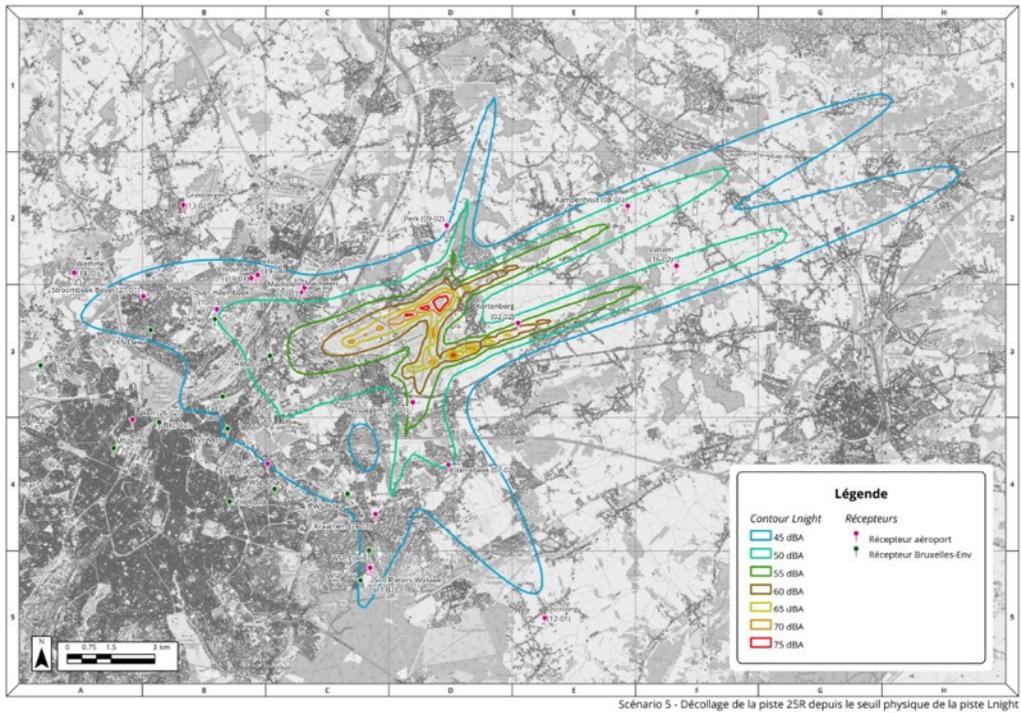


Figure 155 : Scénario 5, Lnight

7.11.4.4 Comparaison du contour Lnight 45 dB du scénario 5 avec la base

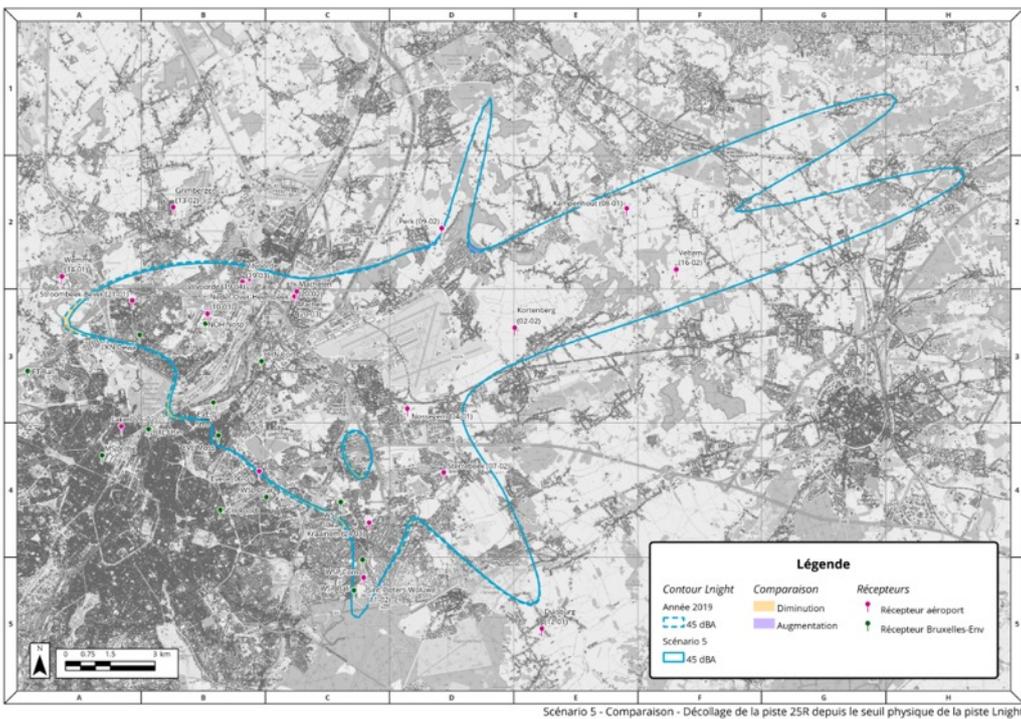


Figure 156 : Différence Scénario 5 Lnight par rapport au contour Lnight 45 dB de la base

7.11.4.5 Contours N70 night du scénario 5

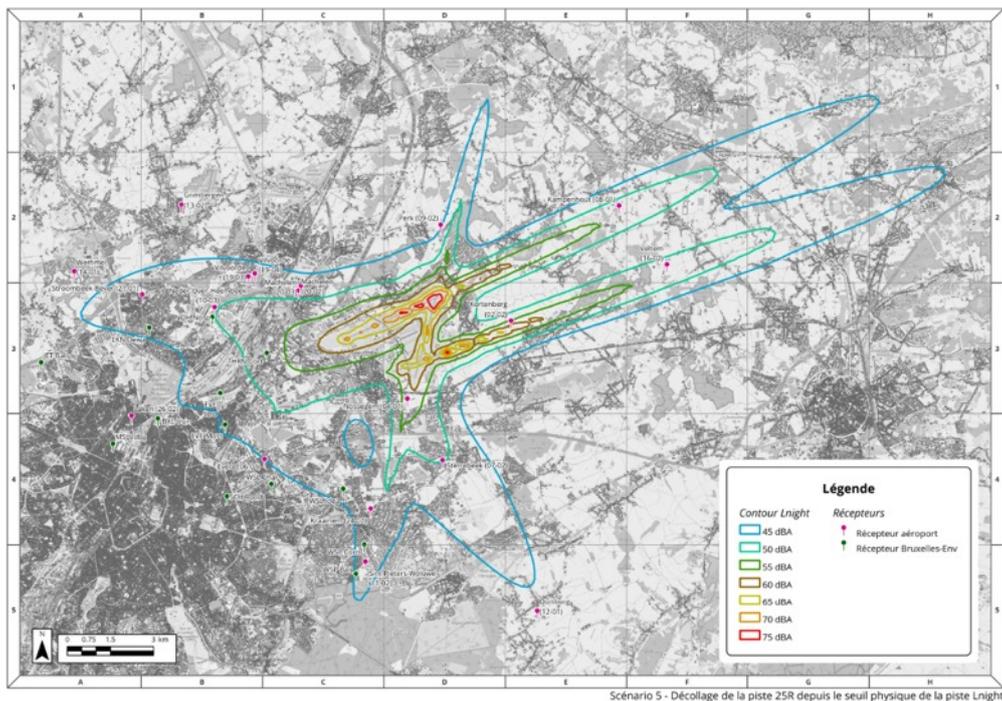


Figure 157 : Scénario 5, N70 night

7.11.4.6 Comparaison du contour N70 night 1 évènement du scénario 5 la base

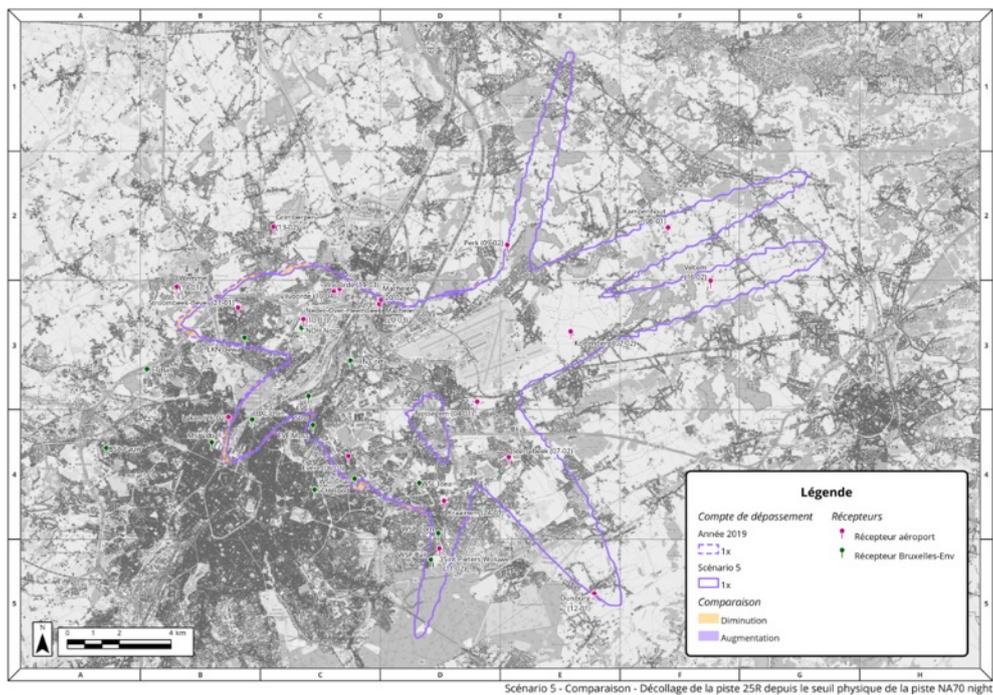


Figure 158 : Différence Scénario 5 N70 night par rapport au contour N70 night 1x de la base

7.11.5 Analyse des résultats

Scénario 5					
Impacts environnementaux par rapport à la base 2019					
Métriques d'exposition au bruit					
Métriques		Aire exposée		Population exposée	
Métrique	Niveau de bruit (dBA)	Aire (km ²)	Changement(%)	Population	Changement(%)
Lden	55	106.0	-1.6%	113 077	-7.7%
Lnight	45	159.1	-1.1%	206 747	-4.2%
Nombre d'évènements moyen par jour au-dessus d'un niveau Lmax					
Métriques		Aire exposée		Population exposée	
		Aire (km ²)	Changement(%)	Population	Changement(%)
N60 Day + Evening (50x)		206.2	-0.4%	319 018	-0.4%
N70 Day + Evening (5x)		141.4	-2.2%	282 947	-3.4%
N60 Night (10x)		172.9	-0.2%	184 161	-0.6%
N70 Night (1x)		143.1	-1.9%	253 312	-5.3%
Estimation de la population fortement gênée					
Métriques		Population impactée			
		Population		Changement (%)	
HA (Lden 55 dBA)		30 231		-7.7%	
HSD (Lnight 45 dBA)		31 146		-4.2%	
Facteurs qualitatifs					
Prévisibilité (changement plus ou moins prévisible)		Identique			
Concentration des vols		Certains départs de la piste 19 pourraient être déplacés sur la piste sur la piste 25R ; la dispersion entre les pistes est réduite			
Nouvelles populations exposées au bruit		Non			
Consommation de carburant/émissions par rapport à la base		Identique			
Impacts opérationnels					
Capacité des pistes		Réduite			
Capacité du système ATC		Identique			
Complexité du système ATC (et charge de travail)		Identique			
Impact économique sur les compagnies		Aucun			
Impact sur les compagnies en termes de ressources		Aucun			
Complexité du pilotage		Identique			
Dépendance au type d'avion		Oui et choix de la configuration du décollage par le pilote			
Applicabilité					
Court-terme, de 0 à 5 ans					

Tableau 58 : Impacts du scénario 5

Les départs de la piste 25R à partir du seuil physique de la piste entraîneraient une petite diminution du nombre de personnes exposées au bruit. Dans les périodes où les pistes 25R et 19 sont utilisées conjointement, il faudrait rabattre les départs de la piste 19 sur la 25R mais cela réduirait la capacité de la piste et la dispersion entre les pistes originellement voulue.

7.12 Scénario 6 : Modernisation de la flotte

7.12.1 Remarques qui ont mené à ce scénario

Dans l'ANNEXE AU COURRIER DU 15 FEVRIER 2021 du Ministre de la mobilité, référencé GG/TB/MD/Che-OUT-2160/2021, il est demandé : « *pouvez-vous réaliser une étude comparative afin de vérifier l'impact positif que pourrait avoir des avions moins bruyants tels que l'Airbus 350 en remplacement des longs courriers habituels et l'Airbus 320neo en remplacement des avions actuellement utilisés (en fonction du pourcentage d'utilisation de ces avions dans la flotte globale. Par exemple par incrément de 10%)* ».

Ce scénario répond aussi à la question dans le même document : « *Quel est le type de flotte qui fréquente l'aéroport de Bruxelles-National ? Cette flotte est-elle stable ou en progression ? (Y a-t-il de plus en plus d'avions longs courriers, donc de plus gros avions au détriment de plus petits ces dernières années et quelle serait la tendance pour les prochaines années ?)* »

Les communes de Kraainem et de Wezembeek-Oppeem demandent à Envisa de prendre en compte « *le fait qu'il s'impose que les avions anciens et bruyants soient interdits de jour et de nuit* ».

7.12.2 Commentaires et faisabilité du scénario

Il est difficile d'établir une prévision précise du nombre d'avions moins bruyants dans les années à venir. Pour modéliser ce scénario, nous avons estimé l'évolution pour chaque type d'appareil avec les données de trafic de 2017 et 2019.

Voici les 30 types d'avion les plus présents en 2017 et 2019, triés par ordre décroissant en 2019 :

	Code ICAO	Code ANP	Total 2017	Total 2019
1	A319	A319-131	59084	51844
2	A320	A320-211	43959	49975
3	B738	737800	29169	29595
4	CRJ9	CRJ9-ER	4608	11392
5	E190	EMB190	9624	8115
6	A333	A330-343	5079	5864
7	A321	A321-232	5194	5474
8	B737	737700	4130	4911
9	B734	737400	4337	4306
10	A332	A330-343	4347	4230
11	B752	757RR	3288	3527
12	A20N	A320-271N	342	3473
13	E145	EMB145	7498	2891
14	E195	EMB195	584	2533

15	A306	A300-622R	2705	2427
16	B789	7878R	99	2356
17	B763	767300	3469	2282
18	B788	7878R	2433	2090
19	DH8D	DHC830	5213	2085
20	BCS3	737500	64	2074
21	E75S	EMB175	0	2012
22	B77L	7773ER	1734	1999
23	B77W	7773ER	1072	1767
24	CRJX	CRJ9-LR	274	1597
25	B744	747400	2208	1500
26	B772	777200	1573	1464
27	A359	A350-941	556	1376
28	C56X	CNA55B	1423	1201
29	E75L	EMB175	106	1191
30	E135	EMB145	1484	1090

Tableau 59 : Types d'avion les plus présents en 2017 et 2019, triés par ordre décroissant en 2019

Les appareils de nouvelle génération vont incontestablement participer à la réduction des contours de bruit. Par exemple, les avions de nouvelle génération qui sont déjà présents dans les flottes tels que l'A320neo et le Boeing 737MAX (dans une certaine mesure en 2019) ont respectivement une réduction de 50% et 40% de leurs contours de bruit, par rapport à leurs versions précédentes (l'A320 et le 737).

7.12.3 Explication du scénario modélisé

Nous avons établi la tendance entre 2017 et 2019, pour chaque type d'avion, afin d'estimer la proportion de chaque avion telle qu'elle serait en 2025, mais en conservant le nombre total de vols en 2019 (c'est-à-dire 234 000). Nous avons aussi pris en compte la réintroduction du Boeing 737MAX, qui avait été arrêté en 2019.

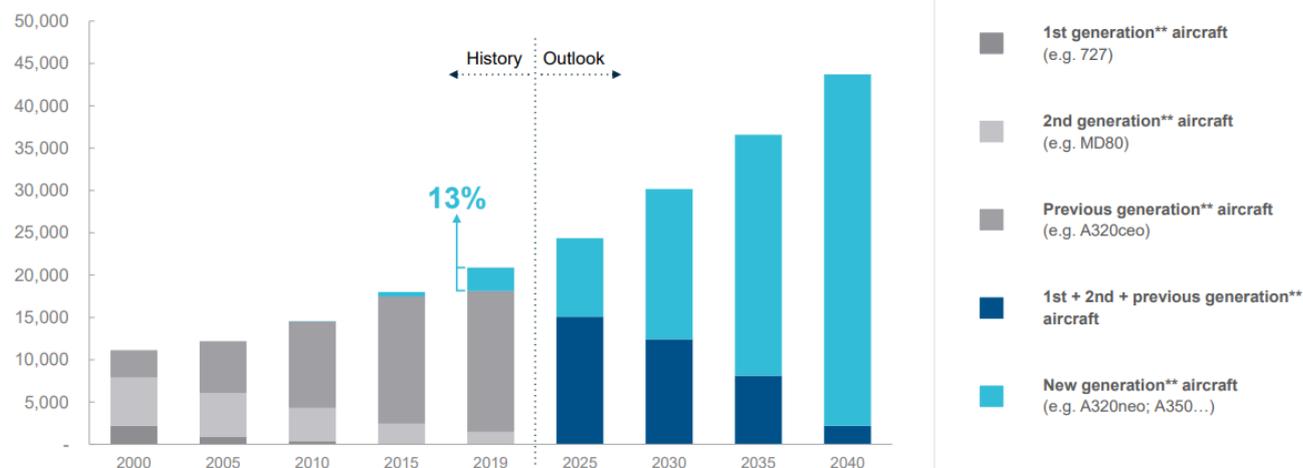
Sources : [Fleet Expansion - Lufthansa Group](#)

<https://www.boeing.com/features/2016/09/737max-noise-09-16.page>

En 2019 à Bruxelles, la proportion d'avions de nouvelle génération (Airbus A320neo, A350, A380, 737Max, 787, ...) était de 12%. Dans ce scénario, elle est de 28%. Cela correspond aux prévisions établies par Airbus dans son évaluation du marché mondial de l'aviation post Covid :

Only 13% of 2019 fleet in service were new generation aircraft

Number of passenger aircraft in service*



Source: Cirium, Airbus

* Western built passenger aircraft above 100 seats – pax aircraft only / **1st generation: A300, DC 9, DC10, 707, 727, 737, 747 / 2nd generation: A310, MD11, MD80, MD90, 737, 747, 757, 767, F100
Previous generation: A320 Fam., A330, A340, 717, 737NG, 747, 777 / New generation: A220, A320neo Fam., A330neo, A350, A380, 737Max, 777X, 787 & new programs

AIRBUS

Figure 159 : Pourcentage d'avions de nouvelle génération dans les prochaines années

Source : <https://www.airbus.com/sites/g/files/jlcbta136/files/2021-11/Airbus-Global-Market-Forecast-2021-2040.pdf>

Dans l'étude d'Airbus, en 2019, 13% des avions faisaient partie de la nouvelle génération d'avions, et en 2025 ce nombre est estimé entre 30 et 35 %. Il comprend également les nouveaux programmes dont l'A330neo et le 777X, pour lesquels il n'y a pas encore de données de modélisation. Les anciennes générations d'avion disparaissent aussi et cela est pris en compte dans ce scénario.

Voici les 30 types d'avion les plus présents dans ce scénario, qui établit ce que la flotte pourrait être en 2025, triés par ordre décroissant :

	Code ICAO	Code ANP	Total 2025
1	A320	A320-211	53072
2	A319	A319-131	25044
3	B738	737800	24465
4	CRJ9	CRJ9-ER	24331
5	A20N	A320-271N	9747
6	A333	A330-343	9498
7	E75S	EMB175	9457
8	B789	7878R	8963
9	B38M	7378MAX	6961
10	E195	EMB195	6362
11	BCS3	737500	6134
12	B737	737700	5639
13	B77L	7773ER	5131
14	A321	A321-232	4967

15	CRJX	CRJ9-LR	4221
16	B734	737400	3346
17	B752	757RR	3331
18	E190	EMB190	3066
19	A359	A350-941	2923
20	A21N	A321-270N	2202
21	RJ85	BAE146	1457
22	A306	A300-622R	1304
23	F2TH	CL600	1231
24	B772	777200	918
25	C56X	CNA55B	807
26	FA7X	GIV	681
27	C68A	CNA680	656
28	C130	C130E	574
29	A310	A310-304	567
30	PC12	CNA208	527

Tableau 60 : Types d'avion les plus présents dans ce scénario à l'horizon 2025

7.12.4 Résultats de la modélisation

7.12.4.1 Contours Lden du scénario 6

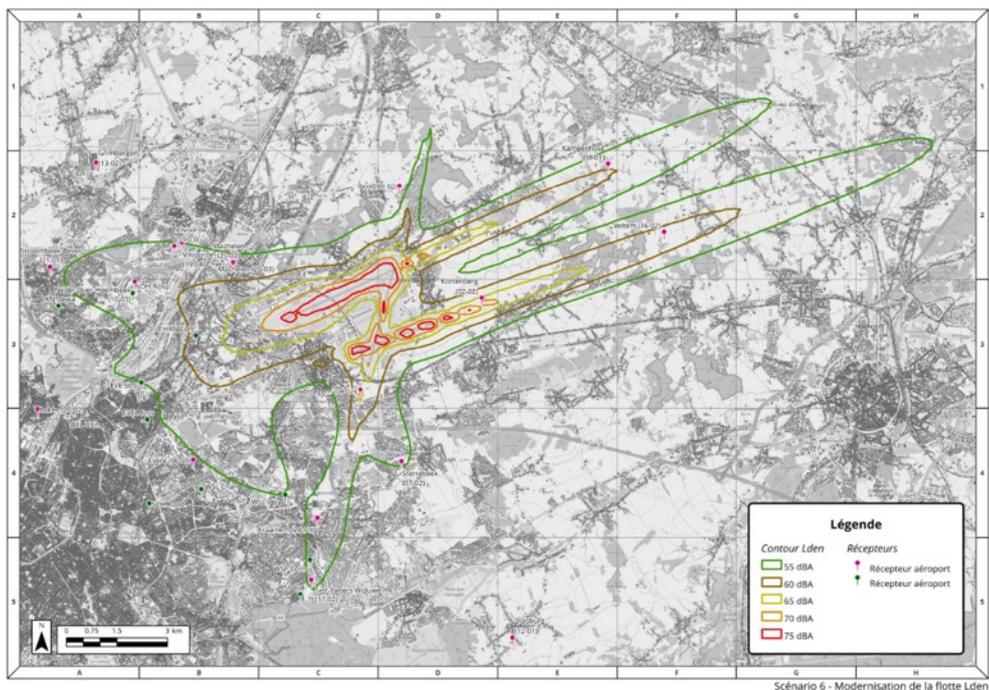


Figure 160 : Scénario 6, Lden

7.12.4.2 Comparaison du contour Lden 55db du scénario 6 avec la base

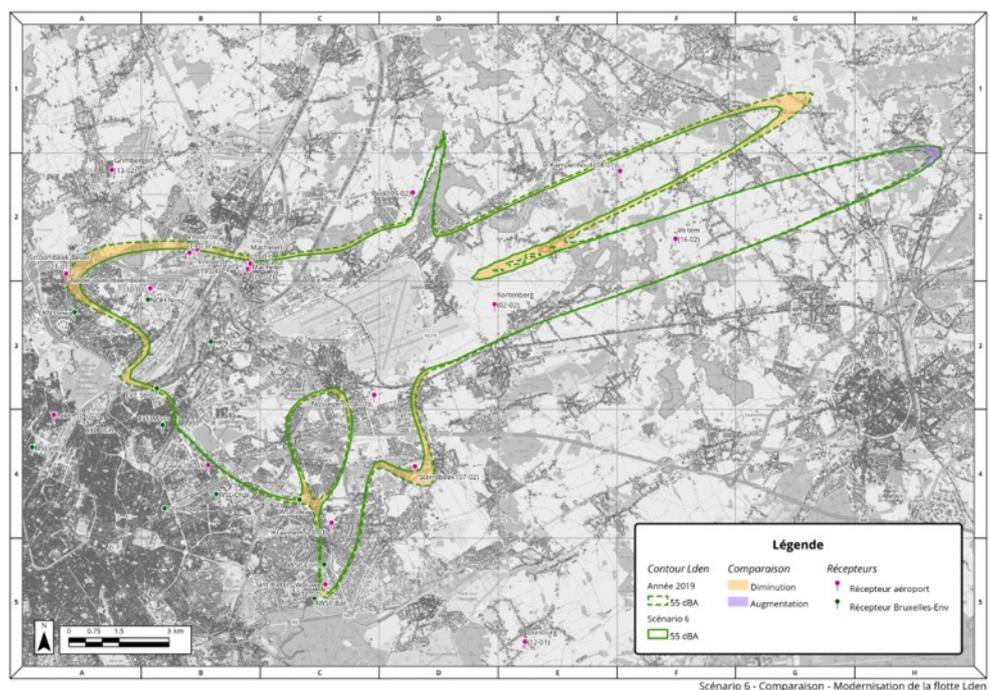


Figure 161 : Différence scénario 6 Lden par rapport au contour Lden 55 dB de la base

7.12.4.3 Contours Lnight du scénario 6

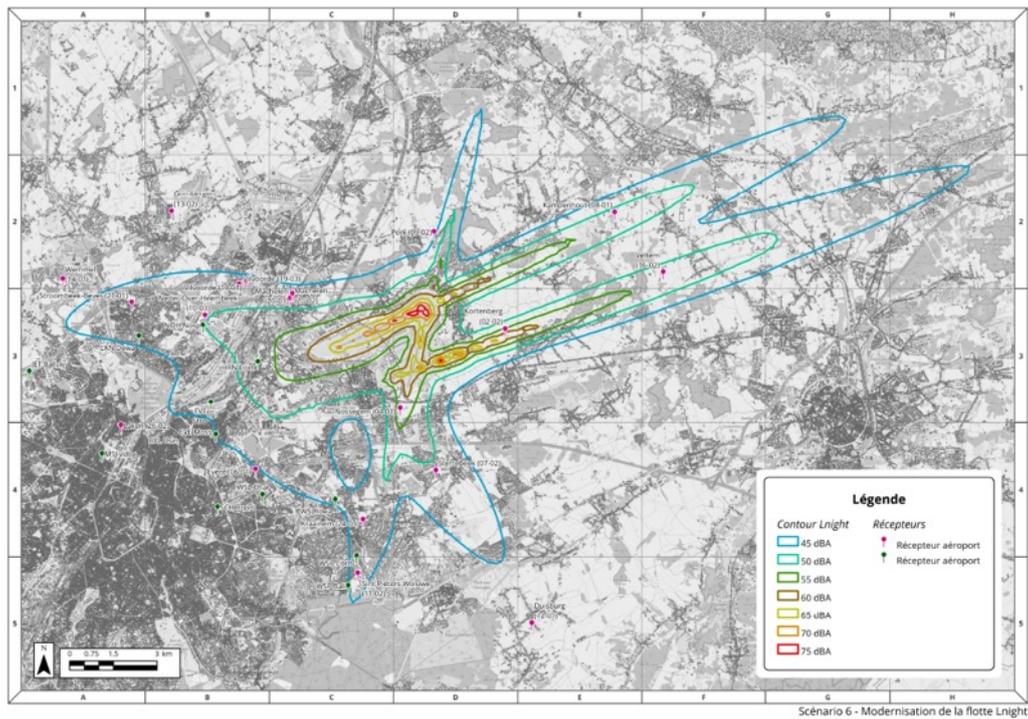


Figure 162 : Scénario 6, Lnight

7.12.4.4 Comparaison du contour Lnight 45 dB du scénario 6 avec la base

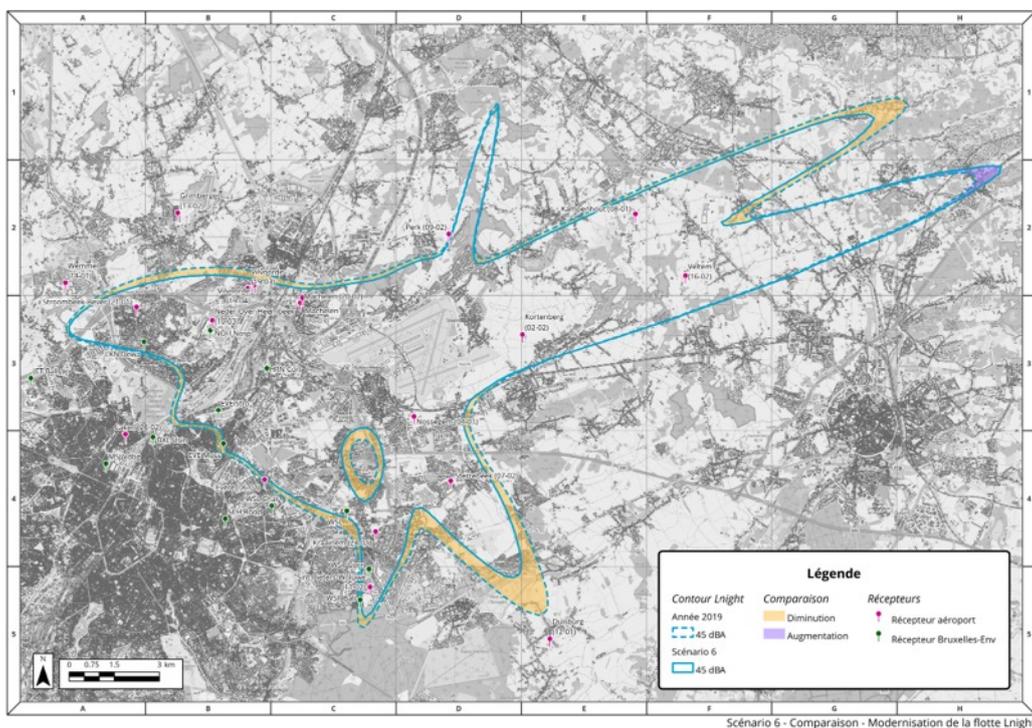


Figure 163 : Différence Scénario 6 Lnight par rapport au contour Lnight 45 dB de la base

7.12.4.5 Contours N70 night du scénario 6

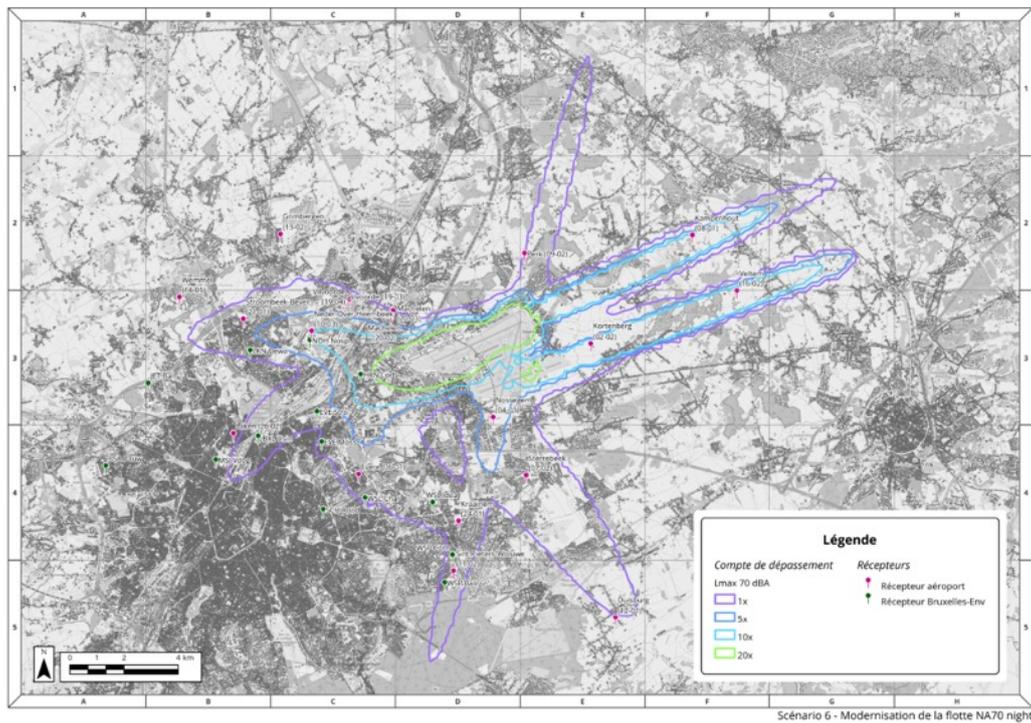


Figure 164 : Scénario 6, N70 night

7.12.4.6 Comparaison du contour N70 night 1 événement du scénario 6 avec la base

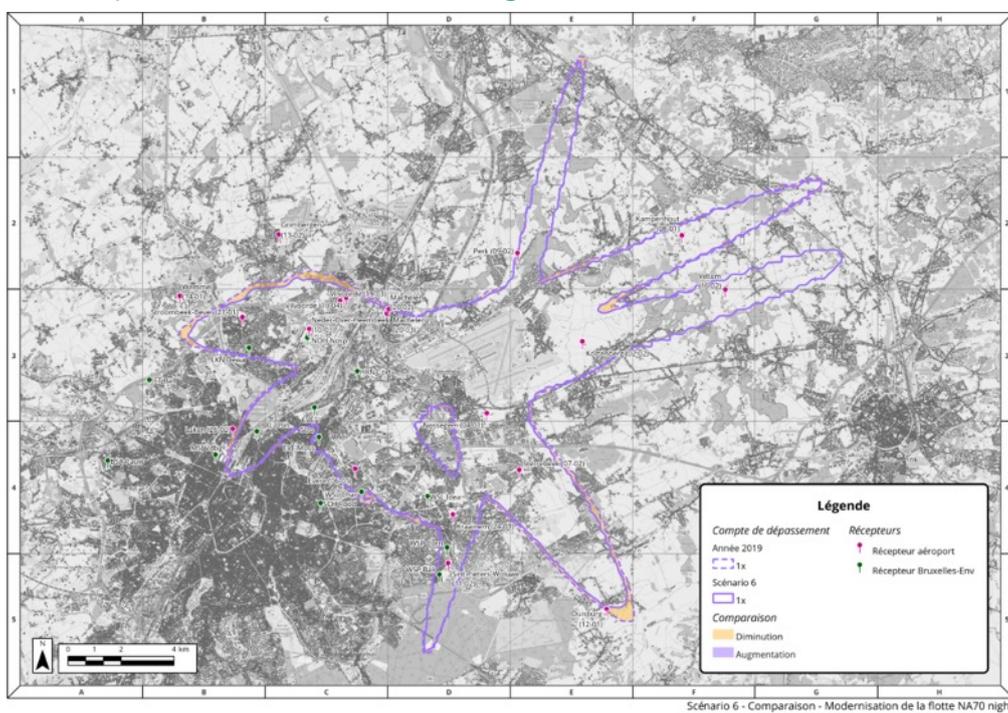


Figure 165 : Différence Scénario 6 N70 night par rapport au contour N70 night 1x de la base

7.12.5 Analyse des résultats

Scénario 6					
Impacts environnementaux par rapport à la base 2019					
Métriques d'exposition au bruit					
Métriques		Aire exposée		Population exposée	
Métrique	Niveau de bruit (dBA)	Aire (km ²)	Changement(%)	Population	Changement(%)
Lden	55	98.6	-8.4%	102 937	-16.0%
Lnight	45	145.5	-9.6%	183 216	-15.1%
Nombre d'évènements moyen par jour au-dessus d'un niveau Lmax					
Métriques		Aire exposée		Population exposée	
		Aire (km ²)	Changement(%)	Population	Changement(%)
N60 Day + Evening (50x)		199.9	-3.4%	312 743	-2.4%
N70 Day + Evening (5x)		135.1	-6.5%	269 985	-7.8%
N60 Night (10x)		172.9	-0.2%	174 517	-5.8%
N70 Night (1x)		136.9	-6.1%	245 192	-8.4%
Estimation de la population fortement gênée					
Métriques		Population impactée			
		Population	Changement (%)		
HA (Lden 55 dBA)		27 520	-16.0%		
HSD (Lnight 45 dBA)		27 602	-15.1%		
Facteurs qualitatifs					
Prévisibilité (changement plus ou moins prévisible)		Identique			
Concentration des vols		Identique			
Nouvelles populations exposées au bruit		Non			
Consommation de carburant/émissions par rapport à la base		Réduite			
Impacts opérationnels					
Capacité des pistes		Identique			
Capacité du système ATC		Identique			
Complexité du système ATC (et charge de travail)		Identique			
Impact économique sur les compagnies		Investissements dans le renouvellement de leurs flottes Classement des compagnies les plus vertes à implémenter			
Impact sur les compagnies en termes de ressources		Non			
Complexité du pilotage		Identique			
Dépendance au type d'avion		Oui			
Applicabilité					
Moyen-terme, 5 à 10 ans					

Tableau 61 : Impacts du scénario 6

La modernisation de la flotte a indéniablement un impact positif sur les contours de bruit. Pour les métriques Lden et Lnight, la population exposée serait réduite de plus de 15%, ce qui est notable. Les émissions de

polluants seront aussi réduites. Les compagnies peuvent être incitées à renouveler leurs flottes en adaptant les taxes au type d'avion. C'est un renouvellement qui est déjà commencé mais il peut être encore plus prononcé selon les actions de l'aéroport.

7.13 Scénario 7 : Suppression des vols cargo

7.13.1 Remarques qui ont mené à ce scénario

Dans la lettre du Bourgmestre de Woluwe-Saint-Pierre, il est demandé que soit analysé la « *suppression des vols cargo* ».

Le Gouvernement de la Région de Bruxelles-Capitale demande aussi que soit évaluées des mesures de restriction d'exploitation comme « *le type de vols (fret, complémentarité des aéroports belges)* ».

7.13.2 Commentaires et faisabilité du scénario

Les avions cargo font partie des appareils les plus bruyants. Leur suppression entraînerait forcément une réduction de la taille des contours de bruit. Il faudrait bien sûr que les autres aéroports belges les accueillent.

Par définition, les vols cargo opèrent principalement sur des tranches horaires nocturnes, comparés aux lignes commerciales régulières. Il est indéniable que leur suppression pur et simple entraînerait des réductions de bruit. Cependant, l'impact économique pour l'aéroport serait conséquent. Brussels-National dispose d'emplacements réservés à la pratique du cargo qui seraient laissés inoccupés et devraient être alloués à d'autres activités. L'activité cargo devrait être déournée vers d'autres aéroports qui verraient le trafic augmenter tôt le matin et tard le soir. Des investissements devraient être entrepris afin de permettre l'accueil logistique de ce trafic sur les autres aéroports.

Il faut aussi noter que de plus en plus de vols transportent à la fois des passagers et du fret. C'est ce qui est appelé vol « belly-cargo » car le fret est stocké sous le pont principal de l'avion, dans son « ventre ». Les compagnies aériennes combinent ainsi l'activité cargo avec le transport de passagers pour atteindre un meilleur taux d'occupation de l'espace disponible lors d'un vol. Ainsi, au niveau mondial en 2019, il y a eu presque autant de kilomètres par tonne de fret effectués par des vols belly cargo que par des vols cargo dédiés (source : <https://www.statista.com/statistics/535543/worldwide-freight-ton-kilometer-share-belly-cargo-and-main-cargo/>). Seuls les vols cargos dédiés ont été supprimés dans la modélisation de ce scénario.

7.13.3 Explication du scénario modélisé

Pour modéliser ce scénario, nous avons retiré les types d'avions cargos de la base de données d'AEDT. C'est la seule information dont nous disposons pour les identifier. Voici la liste des types d'avion servant aux vols cargos/ au fret dans les données de l'année 2019 : A330-200F, B77L, A300-622R, B747-400, B747-800, C130E,

BAE146, A310-304, DHC8, C130, C130AD, MD82, MD83, MD9028. Au total, les opérations cargo/fret avec ces appareils représentent à peu près 9500 opérations en 2019.

7.13.4 Résultats de la modélisation

7.13.4.1 Contours Lden du scénario 7

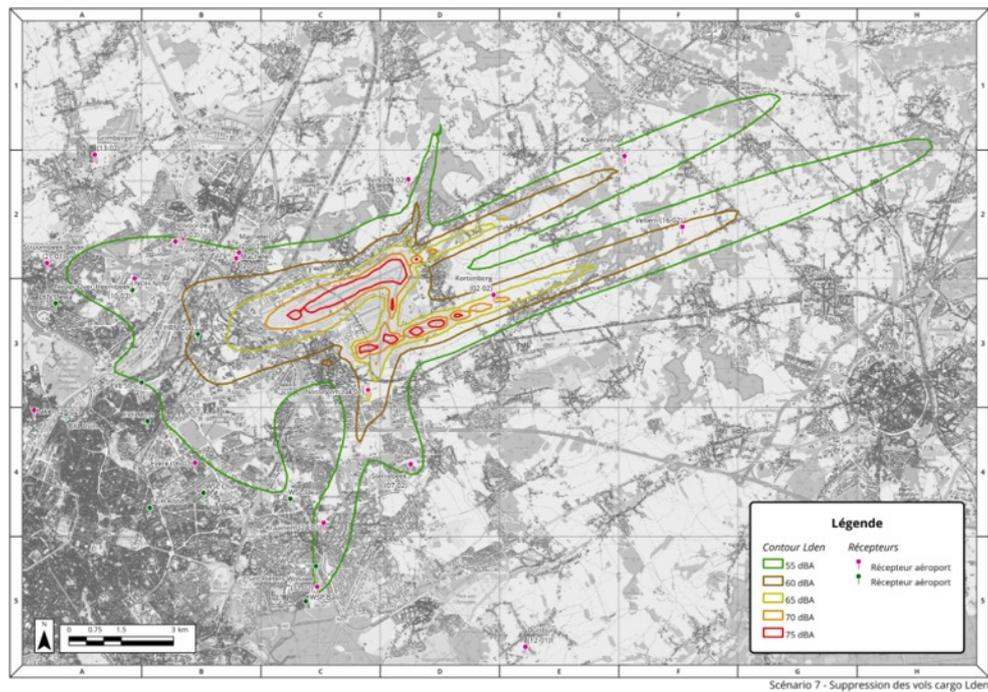


Figure 166 : Scénario 7, Lden

7.13.4.2 Comparaison du contour Lden 55 dB du scénario 7 avec la base

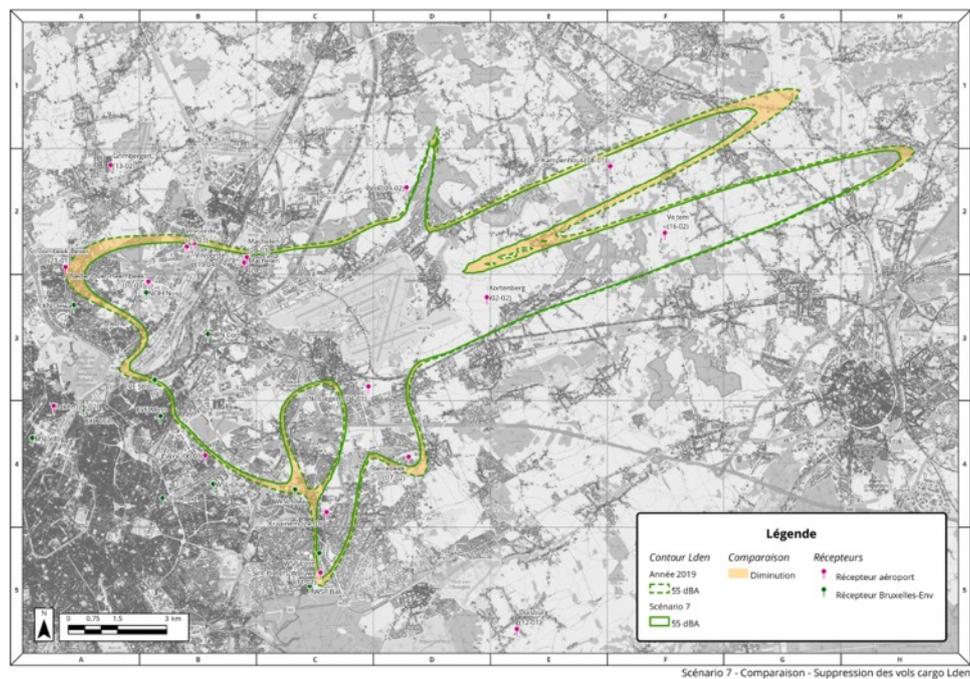


Figure 167 : Différence scénario 7 Lden par rapport au contour Lden 55 dB de la base

7.13.4.3 Contours Lnight du scénario 7

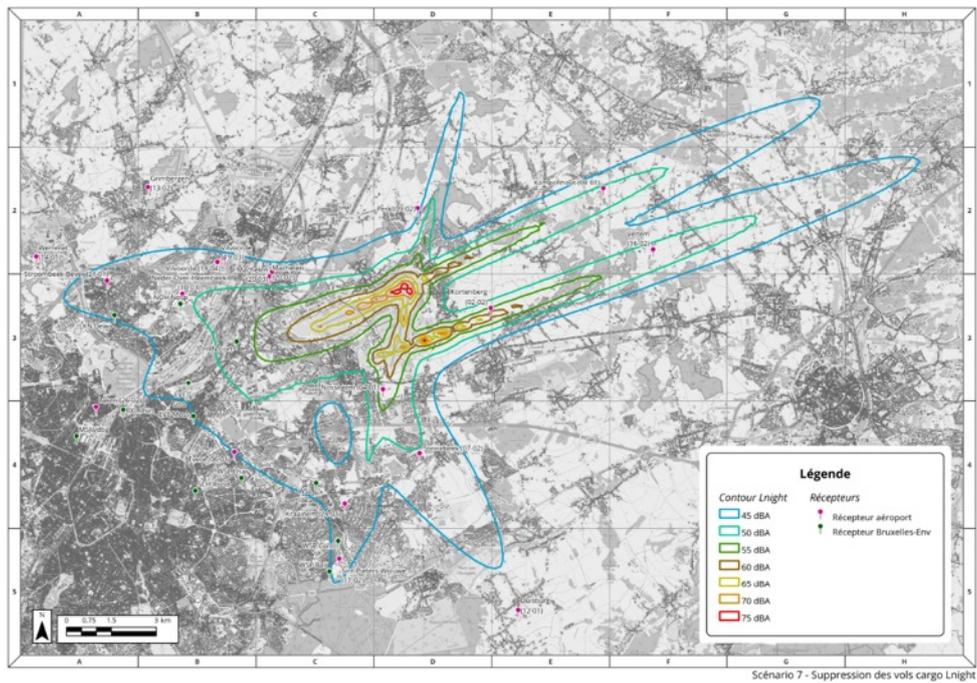


Figure 168 : Scénario 7, Lnight

7.13.4.4 Comparaison du contour Lnight 45 dB du scénario 7 avec la base

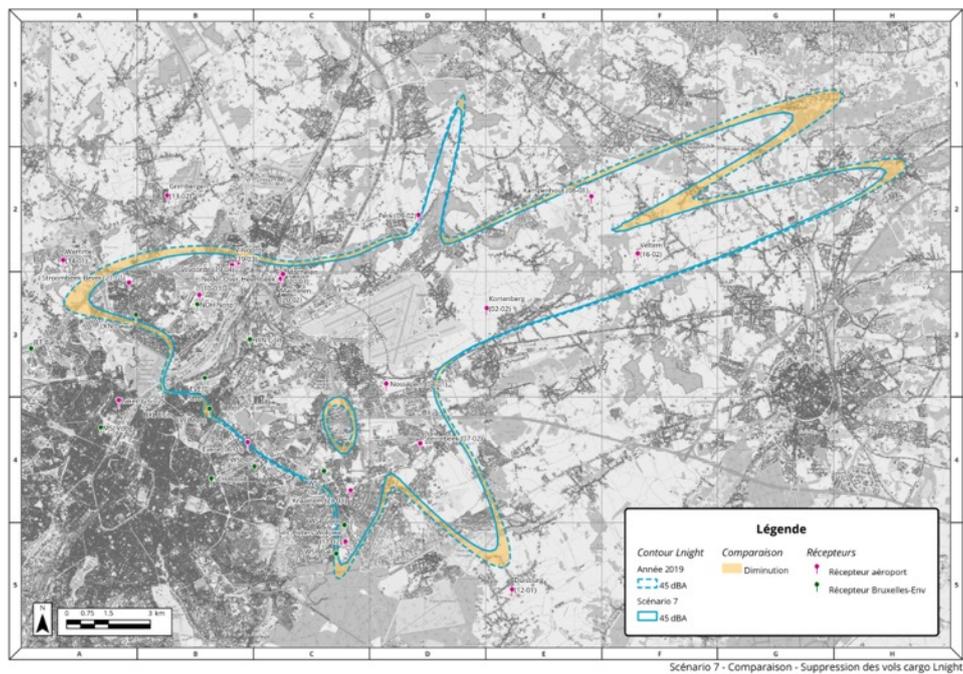


Figure 169 : Différence Scénario 7 Lnight par rapport au contour Lnight 45 dB de la base

7.13.4.5 Contours N70 night du scénario 7

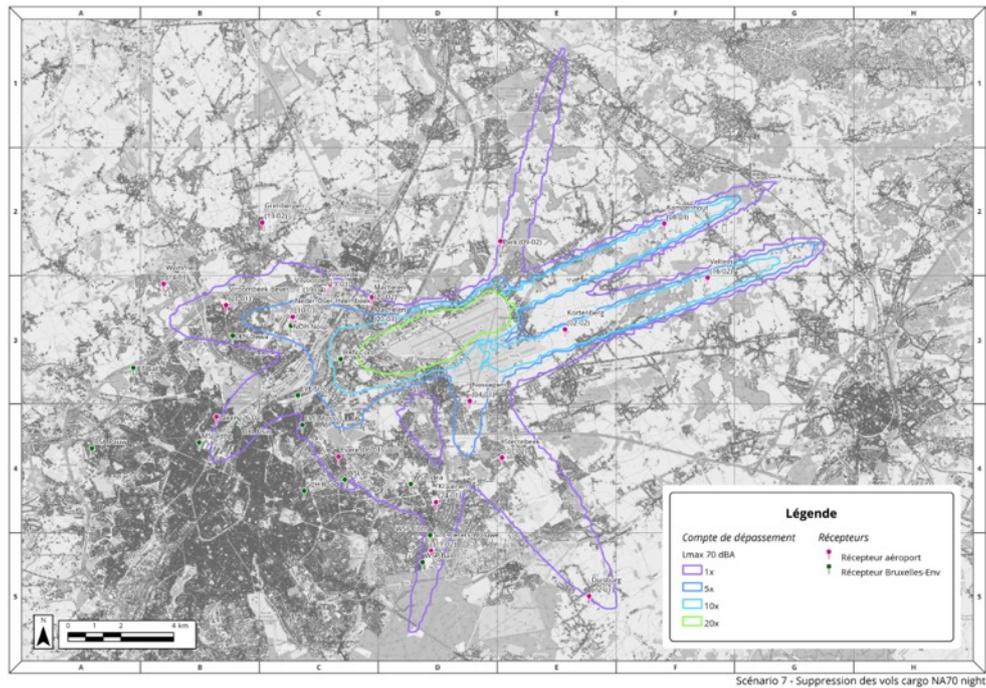


Figure 170 : Scénario 7, N70 night

7.13.4.6 Comparaison du contour N70 night 1 événement du scénario 7 avec la base

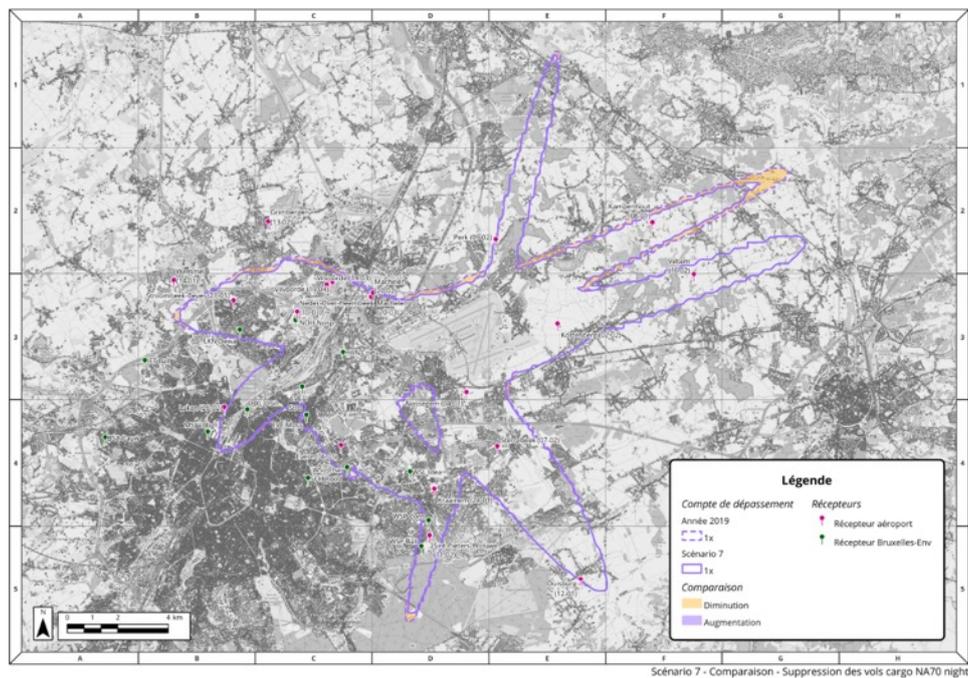


Figure 171 : Différence Scénario 7 N70 night par rapport au contour N70 night 1x de la base

7.13.5 Analyse des résultats

Scénario 7					
Impacts environnementaux par rapport à la base 2019					
Métriques d'exposition au bruit					
Métriques		Aire exposée		Population exposée	
Métrique	Niveau de bruit (dBA)	Aire (km ²)	Changement(%)	Population	Changement(%)
Lden	55	94.1	-12.6%	97 424	-20.5%
Lnight	45	140.2	-12.9%	184 919	-14.3%
Nombre d'évènements moyen par jour au-dessus d'un niveau Lmax					
Métriques		Aire exposée		Population exposée	
		Aire (km ²)	Changement(%)	Population	Changement(%)
N60 Day + Evening (50x)		196.2	-5.2%	302 430	-5.6%
N70 Day + Evening (5x)		132.2	-8.5%	269 298	-8.0%
N60 Night (10x)		151.6	-12.5%	149 149	-19.5%
N70 Night (1x)		138.0	-5.4%	254 264	-5.0%
Estimation de la population fortement gênée					
Métriques		Population impactée			
		Population	Changement (%)		
HA (Lden 55 dBA)		26 046	-20.5%		
HSD (Lnight 45 dBA)		27 858	-14.3%		
Facteurs qualitatifs					
Prévisibilité (changement plus ou moins prévisible)		Identique			
Concentration des vols		Identique			
Nouvelles populations exposées au bruit		Non			
Consommation de carburant/émissions par rapport à la base		Réduite			
Impacts opérationnels					
Capacité des pistes		Identique			
Capacité du système ATC		Identique			
Complexité du système ATC (et charge de travail)		Identique			
Impact économique sur les compagnies		Fort			
Impact sur les compagnies en termes de ressources		Diminution des ressources			
Complexité du pilotage		Identique			
Dépendance au type d'avion		Vols cargos supprimés			
Applicabilité					
Court-terme 0-5 ans					

Tableau 62 : Impacts du scénario 7

La suppression des vols cargos implique une attractivité diminuée pour l'aéroport de Bruxelles. Il y a comme attendu une réduction de la population exposée dans le contour Lden 55 dB, celle-ci est de 20%. Il y aurait aussi

presque 20% de personnes en moins qui subiraient plus de 10 évènements au-dessus de 60 dB(A) la nuit. Les émissions de polluant seraient également réduites.

7.14 Scénario 8a : Nouvelles procédures d’approche pour les pistes 07L/R

7.14.1 Remarques qui ont mené à ce scénario

L’état belge a demandé quelles seraient les conséquences, en termes de bruit, d’une mise en place de procédures basées sur un ILS pour les pistes 07L et 07R, et de procédures PBN (RNP) pour les pistes non-PRS (07L, 07R et 01). La prise en compte d’un plus grand angle de descente est aussi notifiée. En effet, dans l’ANNEXE AU COURRIER DU 15 FEVRIER 2021 du Ministre de la mobilité, référencé GG/TB/MD/Che-OUT-2160/2021, il est demandé que soit étudié : « *L’installation d’un ILS sur les pistes 07L et 07R* » et « *La mise en œuvre de procédures d’approche (PBN ou ILS) pour les pistes non-PRS (piste 01, 07L et 07R) ayant un angle d’approche (glide path) relevé (vers 3,3° ou 3,5°) sachant que ces pistes ne peuvent être utilisées qu’avec un vent de face déjà élevé.* »

La commune de Jette fait remarquer que « *ce sont les atterrissages ‘à vue’ sur la piste 07L laquelle n’est pas équipée d’un ILS, qui engendrent le plus de nuisances sonores. Les atterrissages se font en effet par une balise de radionavigation (VOR) et non via un système de navigation satellite.* »

Le Gouvernement de la Région de Bruxelles-Capitale demande aussi que soit évaluées des « *modifications de l’utilisation des pistes à l’atterrissage* ».

Les communes de Kraainem et de Wezembeek-Oppem demandent « *que les pistes 07R/L soient, elles aussi, équipées d’urgence des nouvelles technologies de précision et de sécurité, de manière à permettre les atterrissages sur base de la technologie RNP/PBN et pouvoir être opérationnelles pour recevoir également les atterrissages de jour et de nuit de l’aéroport* ».

7.14.2 Commentaires et faisabilité du scénario

Dans un premier temps, il est important de comprendre qu’une approche à vue est une procédure spécifique différente des approches VOR, ILS ou RNP (PBN). L’absence d’ILS ou de procédures RNP sur les pistes 07L/R ne signifie en aucun cas que les avions effectuent à chaque fois des approches à vue, car des procédures VOR sont publiées. Les approches à vue peuvent être faites sur n’importe quelle piste, équipée ou non d’ILS, si les conditions météorologiques le permettent, et sous l’initiative des pilotes s’ils le souhaitent ou sous proposition du contrôleur. Concernant les procédures VOR, bien qu’elles soient qualifiées comme « *approches de non-précision* », elles produisent en réalité une trajectoire quasi-similaire à celle d’un ILS ou d’une RNP, et ce grâce à la technologie embarquée à bord (FMS). La différence principale qui aurait un impact sur le bruit serait due à la suppression de l’offset présent sur une des procédures VOR, comme cela sera expliqué ci-dessous.

Jusqu’à présent, il existe une procédure d’approche VOR publiée pour chacune des pistes 07L et 07R. Elles sont basées sur la balise VOR BUB. Ces procédures sont les suivantes :

Procédure d’approche VOR sur la piste 07R :

La procédure est consultable avec le lien ci-dessous :

https://ops.skeyes.be/html/belgocontrol_static/eaip/eAIP_Main/graphics/eAIP/EBBR_IAC08_v23.pdf

La balise VOR BUB est utilisée pour réaliser l'approche. Les étapes principales sont :

- En fonction de la direction de l'approche, l'avion doit rejoindre la radiale 249° vers la balise BUB, avant d'être sur la course finale. Pour ce faire, il peut :
 - o S'il vient de l'Ouest (point KERKY), rejoindre un arc DME à 18 NM de la balise BUB avant d'intercepter la radiale 249°
 - o S'il vient du Nord (VOR ANT), suivre une radiale depuis la balise VOR ANT, puis intercepter la radiale 249°
- Une fois sur la course finale à 249°, l'avion est supposé être à une altitude de 2000 ft ou plus.
- L'avion doit être à une altitude de 2000 ft (1830 ft de hauteur) quand il passe le FAF, symbolisé par une croix
- A partir de là, il doit être en approche finale avec un angle de descente de 3,0°, et vérifier son altitude tous les milles nautiques. Ces vérifications permettent de s'assurer que l'avion est sur une pente correcte et sont utiles pour corriger le taux de descente, si l'avion était à une altitude trop haute ou trop basse. Si la différence entre l'altitude de la procédure et celle indiquée par l'avion est trop grande (selon l'opérateur, plus ou moins 200ft maximum de différence), une procédure de remise de gaz doit être initiée.

PROCEDURE ALTITUDES (HEIGHTS)						
DME BUB	8.0	7.0	6.0	5.0	4.0	
DIST THR	5.7	4.7	3.7	2.7	1.7	
Altitude (height)	2000 (1830)	1720 (1560)	1400 (1240)	1080 (920)	760 (600)	

Figure 172 : Altitudes pour la procédure d'approche VOR sur la piste 07R

- Un 'Step Down Fix' (SDF) est publié, à 4,7 NM de la balise BUB sur l'approche finale. A ce point très spécifique, l'avion ne doit pas être en dessous de la pente, et l'altitude minimum est de 980 ft. Si l'avion venait à être en-dessous de cette altitude, une procédure de remise de gaz doit être engagée.

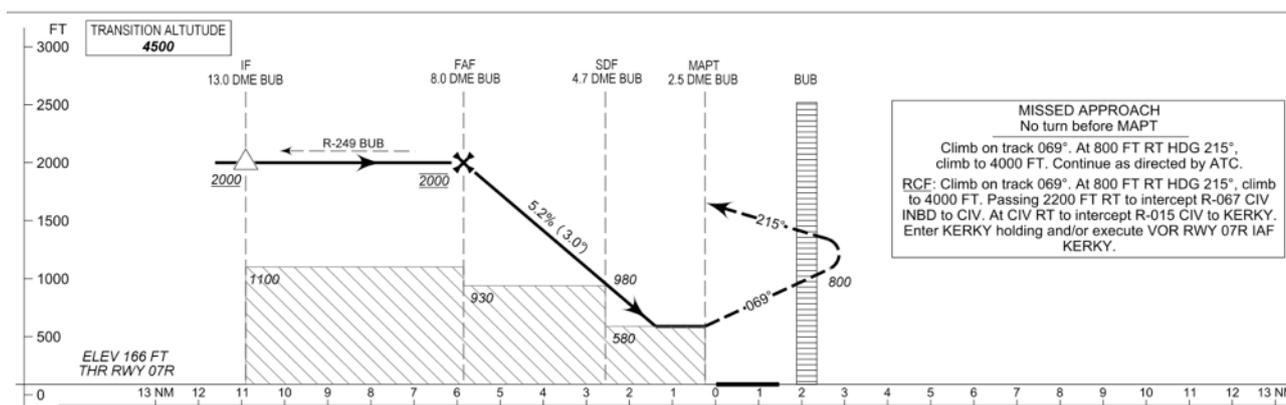


Figure 173 : Procédure d'approche manquée pour la piste 07R

Procédure d'approche VOR sur la piste 07L :

La procédure est accessible avec le lien suivant :

https://ops.skeyes.be/html/belgocontrol_static/eaip/eAIP_Main/graphics/eAIP/EBBR_IAC10_v18.pdf

La procédure d'approche sur la piste 07L est très similaire à celle sur la 07R, à part que la trajectoire en finale est décalée par rapport à la piste. Ceci est dû au fait que le VOR BUB sur lequel elle est basée est situé au bout de

la piste 07R, donc il n'est pas sur l'axe de la piste 07L. En approche finale, l'avion suit une radiale à partir du VOR BUB, et une fois que la piste est en vue (avant l'altitude minimum de décision), il peut initier un virage léger vers la piste pour être correctement aligné.

Comme on peut le voir sur la procédure, l'approche finale dessine une trajectoire située plus au nord de la ville de Bruxelles, en comparaison à la trajectoire alignée avec la piste.

Considérations opérationnelles quotidiennes

Les opérations quotidiennes impliquent différentes façons de suivre la procédure. Il arrive qu'un avion suive la procédure complète à partir de l'IAF jusqu'à la piste. Mais dans le but de fluidifier le trafic, les contrôleurs aériens donnent souvent des vecteurs pour guider les avions directement vers la course d'approche finale de la procédure. C'est un moyen tout à fait légal pour rejoindre une procédure d'approche.

Concernant le profil vertical, un avion va essayer d'optimiser sa descente, et ainsi va éviter de stagner à une altitude impliquant une consommation de carburant plus élevée. C'est pourquoi le profil de descente est habituellement lissé pour rejoindre le point FAF à l'altitude requise, et l'avion poursuit sa descente sur l'approche finale sans paliers après ce point.

Auparavant, les approches de non-précision, telles que les procédures VOR, étaient réalisées en descendant par paliers successifs durant la finale. Aujourd'hui, un profil de descente continue est appliqué dans la grande majorité des cas. Son suivi est facilité par le Flight Management System à bord, présent sur tous les avions de ligne modernes. De plus, le FMS peut indiquer une pente virtuelle à suivre, construite à partir des bases de données de navigation où la procédure est enregistrée. Le profil vertical peut alors être suivi par les pilotes avec ou sans automatismes, de manière précise, avec le même confort qu'un ILS.

Considérations sur l'ILS

Une approche ILS impliquerait les changements suivants sur les opérations :

- L'offset de la piste 07L serait probablement résolu, puisqu'un système ILS au sol est dédié à une piste spécifique et peut fournir une course d'approche virtuelle complètement alignée avec l'axe de la piste.
- Pour les opérateurs, une procédure ILS est une approche 3D, considérée plus simple qu'une approche VOR 2D. La procédure est plus facile à suivre pour les pilotes.

Si l'on considère le même angle de descente, c'est-à-dire 3,0°, pour une éventuelle procédure ILS, les considérations suivantes en termes de bruit pourraient être prises en compte :

- Même si un ILS est considéré comme un système d'approche de précision, et un VOR comme une approche de non-précision, les équipements modernes à bord sont d'une grande utilité pour suivre les procédures VOR d'une manière très précise. Les avions modernes utilisent d'habitude leur FMS pour naviguer et définir leur position. Ils utilisent le signal de la balise VOR seulement comme vérification. Cela peut permettre une meilleure navigation latérale. De plus, comme expliqué ci-dessus, le profil vertical peut être construit à partir de la base de données de navigation et suivi très précisément, de la même manière qu'avec un ILS. Donc la différence de précision entre un ILS et une procédure VOR, pour la plupart des compagnies avec la flotte actuelle, serait marginale.
- Latéralement, les trajectoires d'approche sur la piste 07L seraient déplacées plus au Sud, puisque le décalage (l'offset) n'existerait plus, faisant voler les avions plus près du centre de Bruxelles, tout comme les approches sur la piste 07R.

- Verticalement, les différences d'altitude seraient marginales et dépendantes de l'équipement à bord de l'avion et des conditions météorologiques. Avec l'angle de descente de $3,0^\circ$, l'altitude pour une distance jusqu'à la piste donnée serait en théorie la même, ce qui donnerait la même charge de bruit.

Considérations sur la navigation PBN

Le lecteur est invité à lire la section à propos de la [navigation PBN](#) pour avoir plus de détails sur les opportunités de cette technologie.

Comme expliqué dans le chapitre sur la PBN, les avantages d'une procédure RNP (basée sur le cadre de la PBN) sont la non-dépendance aux balises au sol, telles que les VOR ou les ILS. Cependant, les procédures d'approche doivent respecter des règles strictes d'ingénierie (qui ne seront pas expliquées ici car ce n'est pas le sujet de ce rapport) pour satisfaire les considérations de sécurité telles que l'évitement d'obstacles et les contraintes des avions. Par conséquent, si le plus haut niveau de performance d'approche RNP est utilisé (approches LPV), le profil de descente finale sera très similaire à celui d'un ILS, voire d'une procédure VOR en termes de trajectoire. Si un niveau de performance RNP plus bas est utilisé (LNAV ou LNAVNAV), ces procédures ne sont pas considérées comme approches de précision, et sont plus proches d'une approche VOR que d'une approche ILS dans leur préparation par les pilotes.

Quel que soit le type d'approche utilisé, un avion doit se stabiliser à une certaine distance de la piste, et les pilotes doivent intercepter leur trajectoire finale avant le FAF. Comparé à un ILS, la navigation PBN pourrait seulement améliorer la trajectoire suivie avant de rejoindre la descente finale.

7.14.3 Explication du scénario modélisé

Pour modéliser ce scénario, les sous-trajectoires de la base qui représentent les approches sur la piste 07L et sur la piste 07R ont été remplacées par une seule trajectoire principale axée sur la piste, qui représenterait la trajectoire suivie si un ILS ou une procédure PBN était en place pour ces 2 pistes.

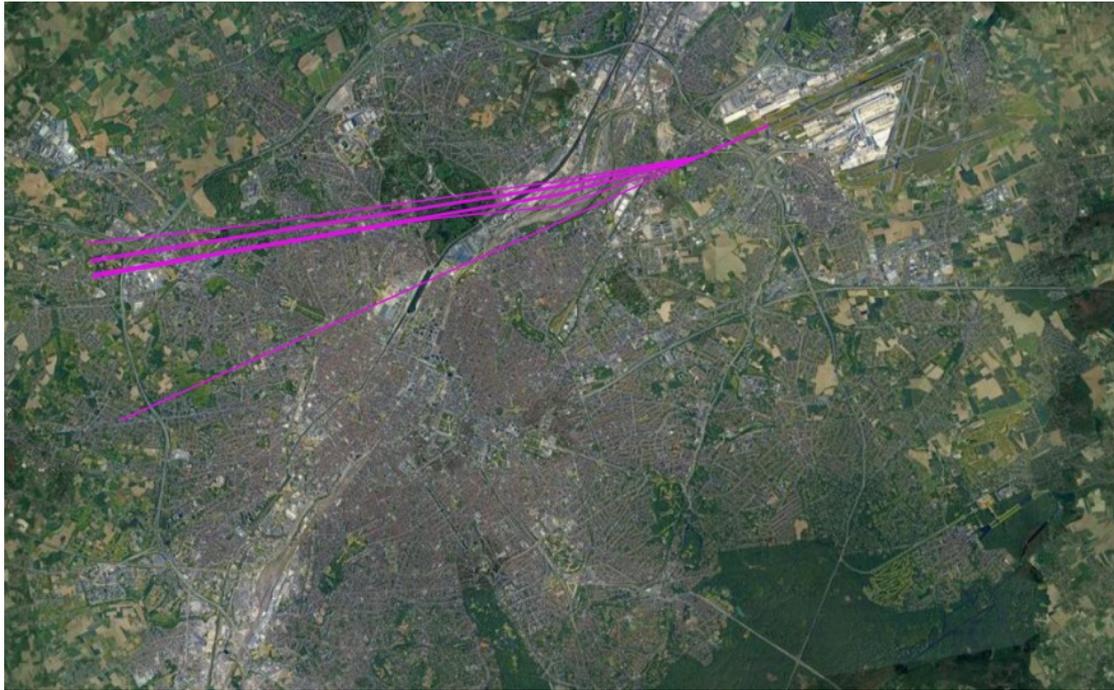


Figure 174 : Backbone tracks et subtracks utilisées pour la base (scénario 0) pour la piste 07L



Figure 175 : Backbone track utilisée pour ce scénario pour la piste 07L

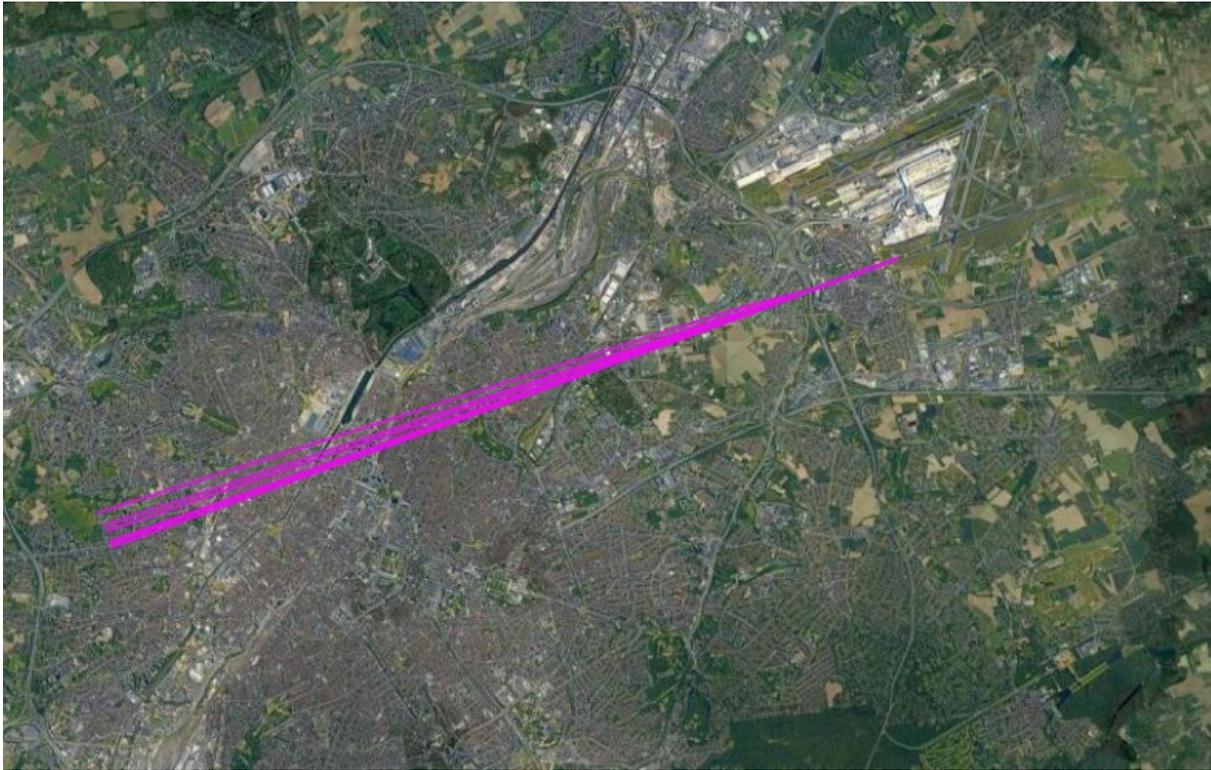


Figure 176 : Backbone tracks et subtracks utilisées pour la base (scénario 0) pour la piste 07R

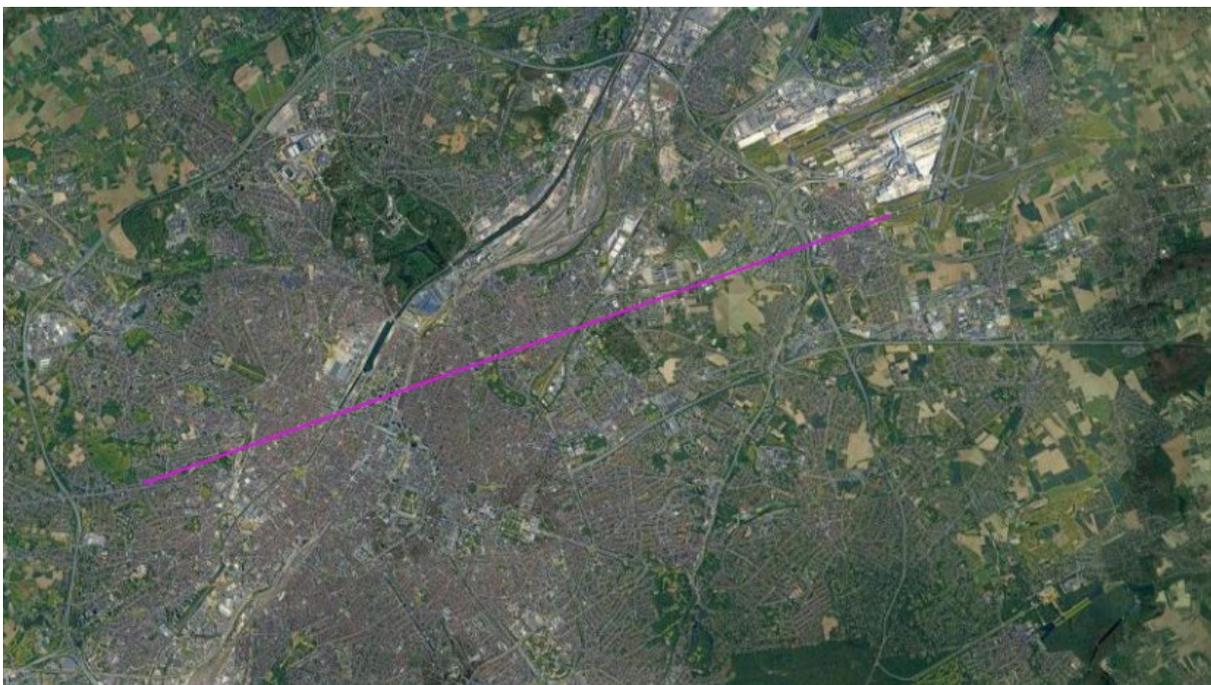


Figure 177 : Backbone track utilisée pour ce scénario pour la piste 07R

Les trajectoires et sous-trajectoires sont inchangées pour les approches sur la piste 01.

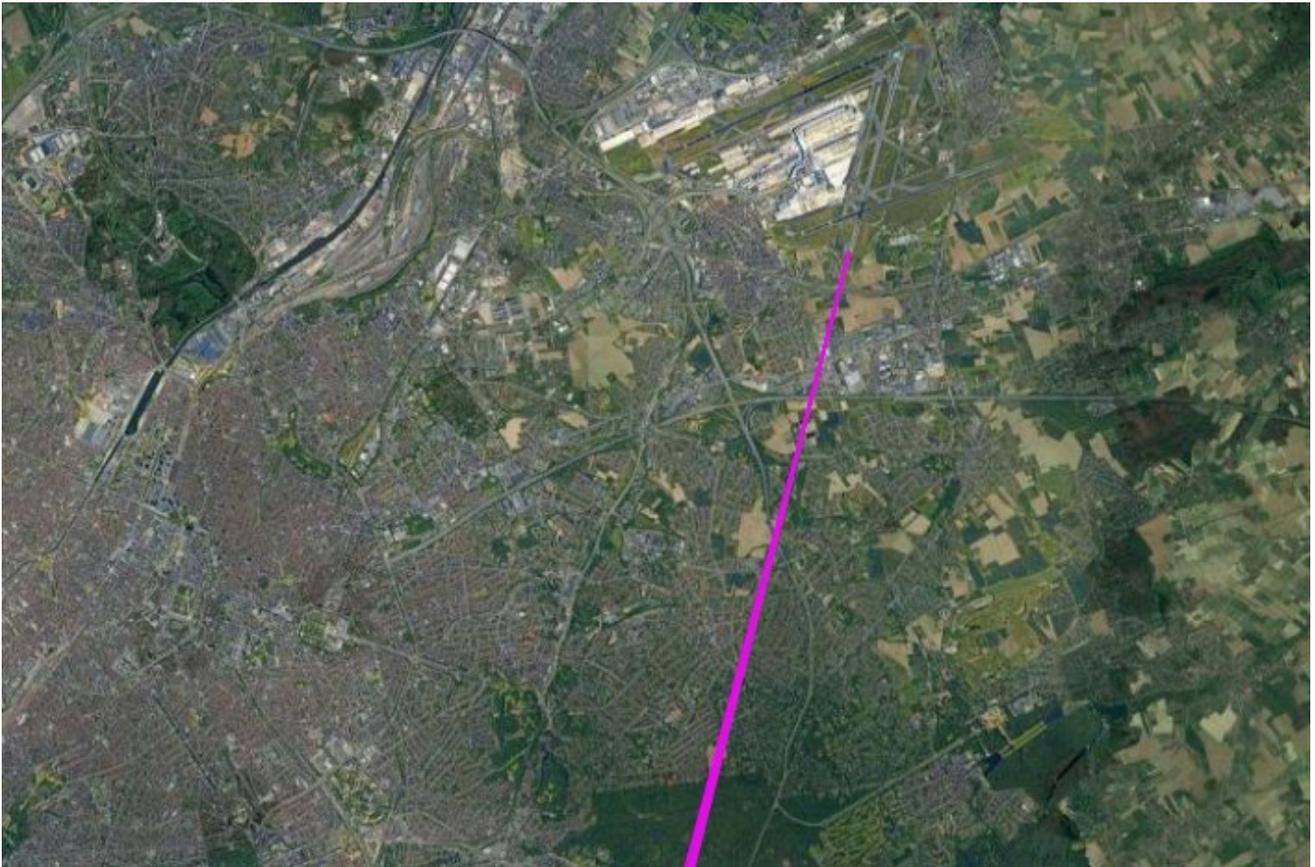


Figure 178 : Backbone tracks et subtracks pour la piste 01

7.14.4 Résultats de la modélisation

7.14.4.1 Contours Lden du scénario 8a

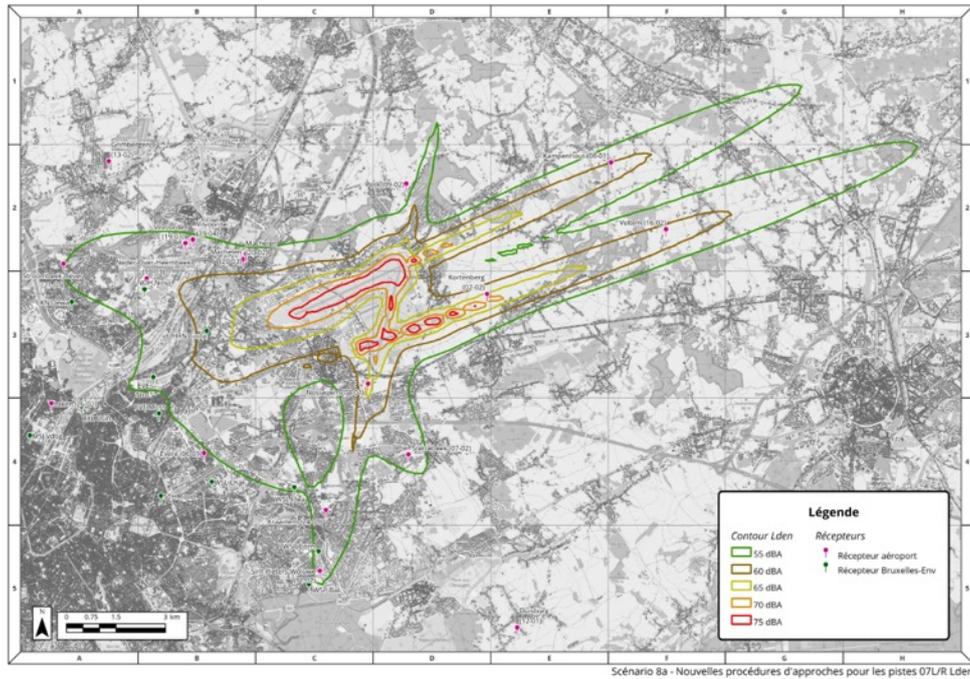


Figure 179 : Scénario 8a, Lden

7.14.4.2 Comparaison du contour Lden 55 dB du scénario 8a avec la base

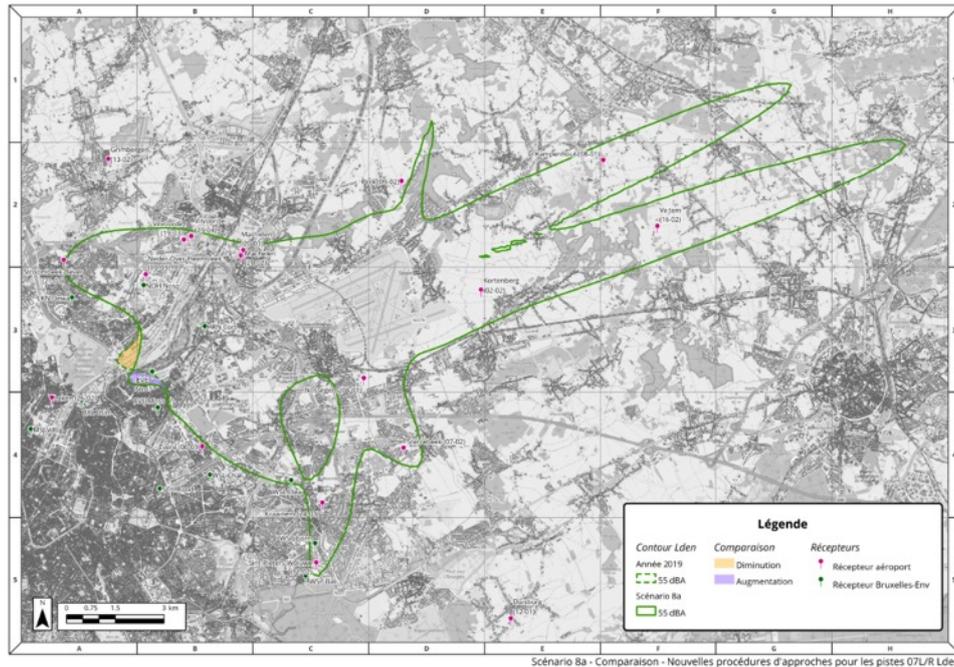


Figure 180 : Différence scénario 8a Lden par rapport au contour Lden 55 dB de la base

7.14.4.3 Contours Lnight du scénario 8a

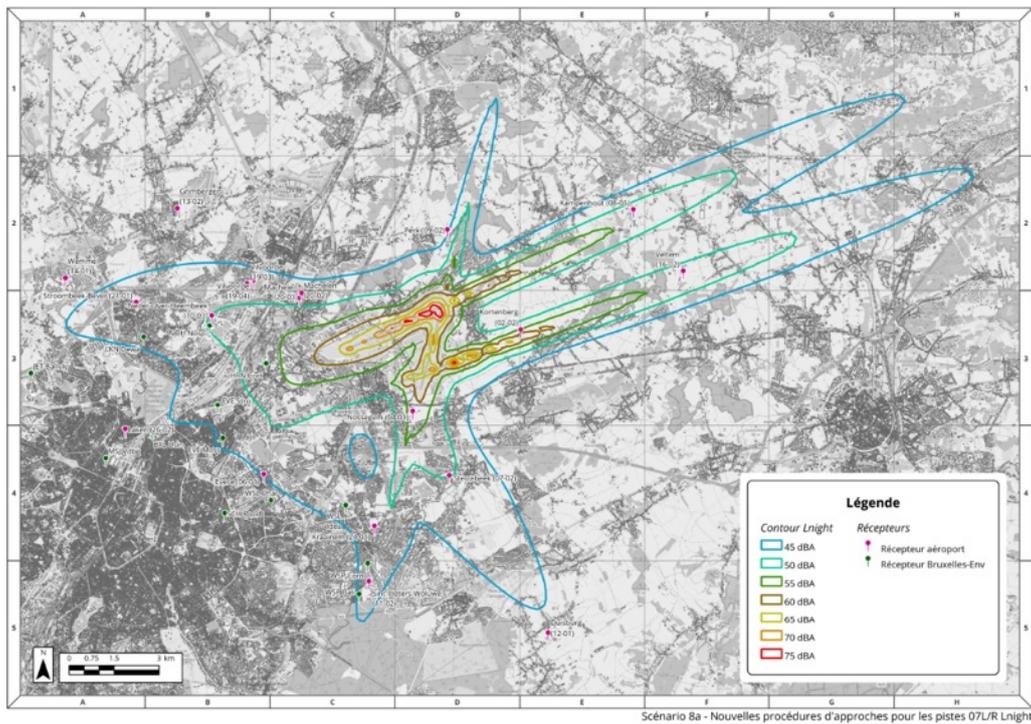


Figure 181 : Scénario 8a, Lnight

7.14.4.4 Comparaison du contour Lnight 45 dB du scénario 8a avec la base

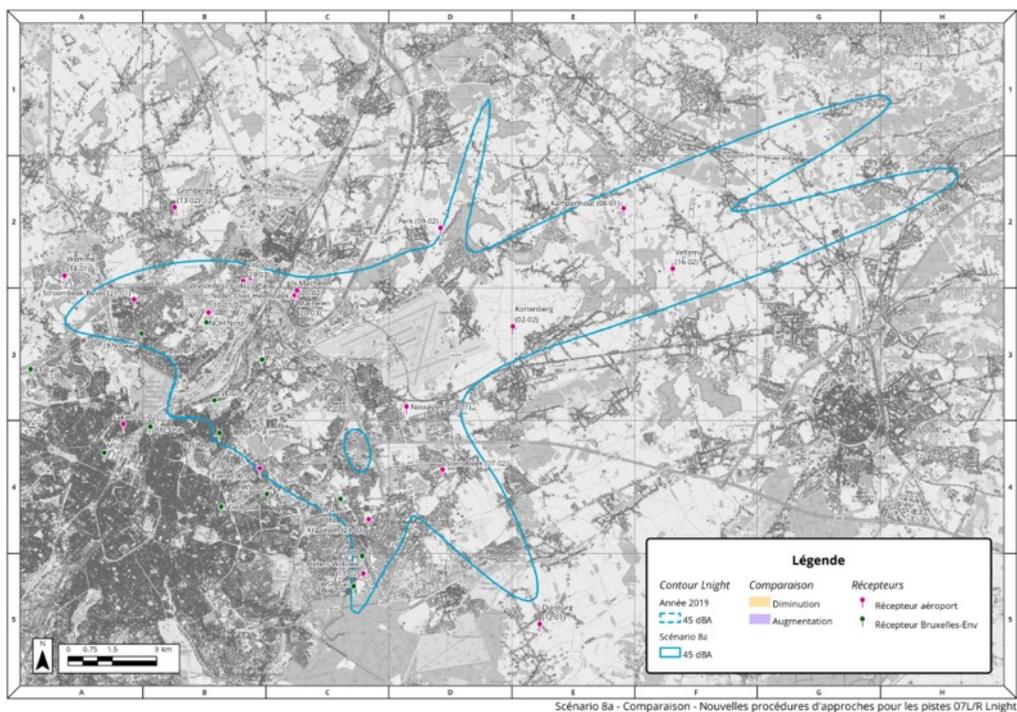


Figure 182 : Différence Scénario 8a Lnight par rapport au contour Lnight 45 dB de la base

7.14.4.5 Contours N70 night du scénario 8a

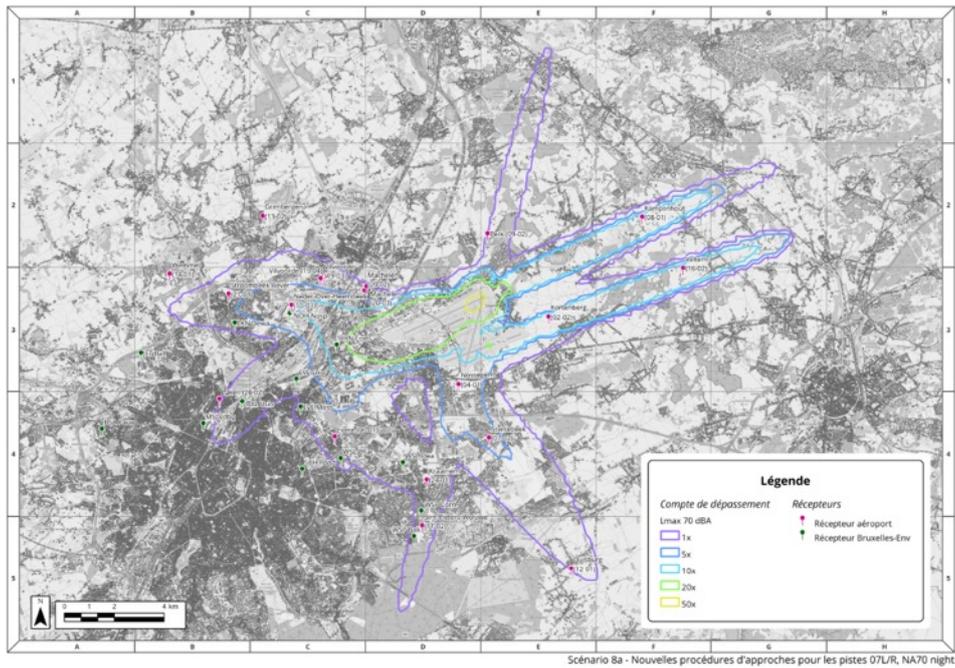


Figure 183 : Scénario 8a, N70 night

7.14.4.6 Comparaison du contour N70 night 1 évènement du scénario 8a avec la base

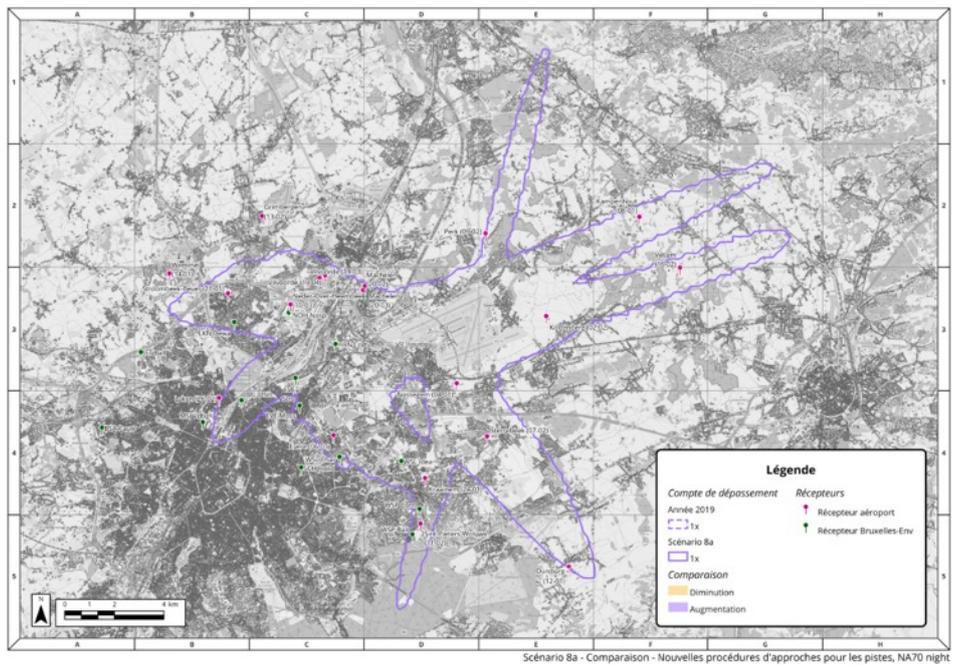


Figure 184 : Différence Scénario 8a N70 night par rapport au contour N70 night 1x de la base

7.14.5 Analyse des résultats

Scénario 8a					
Impacts environnementaux par rapport à la base 2019					
Métriques d'exposition au bruit					
Métriques		Aire exposée		Population exposée	
Métrique	Niveau de bruit (dBA)	Aire (km ²)	Changement(%)	Population	Changement(%)
Lden	55	107.6	0.0%	123 748	+1.0%
Lnight	45	161.0	0.0%	216 085	+0.1%
Nombre d'évènements moyen par jour au-dessus d'un niveau Lmax					
Métriques		Aire exposée		Population exposée	
		Aire (km ²)	Changement(%)	Population	Changement(%)
N60 Day + Evening (50x)		215.9	+4.3%	324 235	+1.2%
N70 Day + Evening (5x)		148.7	+2.8%	294 430	+0.5%
N60 Night (10x)		173.3	0.0%	185 370	-0.2%
N70 Night (1x)		145.8	0.0%	268 017	+0.2%
Estimation de la population fortement gênée					
Métriques		Population impactée			
		Population		Changement (%)	
HA (Lden 55 dBA)		33 084		+1.0%	
HSD (Lnight 45 dBA)		32 553		+0.1%	
Facteurs qualitatifs					
Prévisibilité (changement plus ou moins prévisible)		Identique			
Concentration des vols		Approches moins dispersées			
Nouvelles populations exposées au bruit		Oui pour les approches sur la piste 07L			
Consommation de carburant/émissions par rapport à la base		Identique			
Impacts opérationnels					
Capacité des pistes		Améliorée			
Capacité du système ATC		Améliorée			
Complexité du système ATC (et charge de travail)		Réduction			
Impact économique sur les compagnies		Aucun			
Impact sur les compagnies en termes de ressources		Aucun			
Complexité du pilotage		Réduction			
Dépendance au type d'avion		Majorité de la flotte suffisamment équipée pour suivre des trajectoires RNAV et RNP			
Applicabilité					
Court-terme, 0 - 5 ans					

Tableau 63 : Impacts du scénario 8a

La mise en place de procédures RNP ou d'un ILS pour les pistes 07L/R, sans modification de la répartition (en 2019) des atterrissages sur les pistes 01, 07L et 07R n'a pas d'effet significatif sur les contours de bruit et la population à l'intérieur de ces contours. Le château de Laeken ne serait plus survolé par les approches sur la piste 07L mais celles-ci survoleraient des communes plus au Sud dans l'axe de la piste 07L. Les nouvelles procédures PBN ou ILS seraient plus faciles à suivre pour les pilotes et la charge de travail de l'ATC serait réduite.

7.15 **Scénario 8b** : Nouvelles procédures d’approche pour les pistes 07L/R et augmentation de l’angle de descente pour les approches sur les pistes 07L/R et 01, sans changement de proportion de mouvements

7.15.1 **Remarques qui ont mené à ce scénario**

L’état belge a demandé quelles seraient les conséquences, en termes de bruit, d’une mise en place de procédures basées sur un ILS pour les pistes 07L et 07R, et de procédures PBN (RNP) pour les pistes non-PRS (07L, 07R et 01). La prise en compte d’un plus grand angle de descente est aussi notifiée. En effet, dans l’ANNEXE AU COURRIER DU 15 FEVRIER 2021 du Ministre de la mobilité, référencé GG/TB/MD/Che-OUT-2160/2021, il est demandé que soit étudié : « L’installation d’un ILS sur les pistes 07L et 07R » et « La mise en œuvre de procédures d’approche (PBN ou ILS) pour les pistes non-PRS (piste 01, 07L et 07R) ayant un angle d’approche (glide path) relevé (vers 3,3° ou 3,5°) sachant que ces pistes ne peuvent être utilisées qu’avec un vent de face déjà élevé. »

La commune de Jette fait remarquer que « ce sont les atterrissages ‘à vue’ sur la piste 07L laquelle n’est pas équipée d’un ILS, qui engendrent le plus de nuisances sonores. Les atterrissages se font en effet par une balise de radionavigation (VOR) et non via un système de navigation satellite. »

Le Gouvernement de la Région de Bruxelles-Capitale demande aussi que soit évaluées des « modifications de l’utilisation des pistes à l’atterrissage ».

Les communes de Kraainem et de Wezembeek-Oppem demandent « que les pistes 07R/L soient, elles aussi, équipées d’urgence des nouvelles technologies de précision et de sécurité, de manière à permettre les atterrissages sur base de la technologie RNP/PBN et pouvoir être opérationnelles pour recevoir également les atterrissages de jour et de nuit de l’aéroport ».

7.15.2 **Commentaires et faisabilité du scénario**

Les commentaires faits pour le scénario 8a sont aussi valables pour ce scénario.

Augmentation de l’angle de descente

Un angle de descente plus fort en approche finale (donc après le FAF) implique une altitude plus haute à une certaine distance de la piste. Voici les altitudes pour une pente de 3,0°, 3,25° et 3,5° :

G/P angle (°)	Distance to threshold (NM)	Altitude (ft)	Difference (ft) with 3°	Difference (m) with 3°
3°	10 NM	3,184 ft	-	-
3.25°		3,450 ft	+ 266 ft	+ 81 m
3.5°		3,716 ft	+ 532 ft	+ 162 m
3°	5 NM	1,592 ft	-	-
3.25°		1,725 ft	+ 133 ft	+ 41 m
3.5°		1,858 ft	+ 266 ft	+ 81 m
3°	3 NM	955 ft	-	-
3.25°		1,035 ft	+ 80 ft	+ 24 m
3.5°		1,115 ft	+ 160 ft	+ 49 m

Tableau 64 : Différences d’altitude en fonction de l’angle de descente

Il est important de rappeler que les altitudes calculées ici sont les altitudes « vraies ». Un avion vole avec une altitude indiquée fournie par son altimètre, basée sur la pression statique. En fonction des conditions météorologiques, cette altitude indiquée peut être plus ou moins élevée que l'altitude vraie. Typiquement, avec des températures chaudes, l'altitude indiquée est plus haute. Tandis qu'avec des températures froides elle est plus basse.

Quand un avion utilise l'ILS, la descente est une pente suivie avec un signal envoyé depuis le sol, indépendamment des caractéristiques atmosphériques du jour. Par conséquent, la pente est toujours la même, quelles que soient les conditions, et suit toujours strictement un angle de $3,0^\circ$. Cependant, avec une approche RNP en LNAV/VNAV par exemple, la descente est calculée et suivie en se basant sur l'altitude indiquée. Ainsi selon les conditions, les avions peuvent suivre un angle vrai légèrement supérieur ou inférieur à $3,0^\circ$. C'est tout à fait normal et les procédures sont conçues pour prendre cela en compte (elles peuvent fournir notamment une température minimale pour utiliser la procédure, pour éviter aux avions d'être trop bas lors de la descente finale).

7.15.3 Explication du scénario modélisé

Les trajectoires sont les mêmes que pour le scénario 8a. L'angle de descente a été modifié, il est maintenant égal à $3,5^\circ$ pour les approches sur les pistes 01, 07L et 07R.

En 2019, il y a eu 6640 atterrissages sur la piste 07L, 1176 sur la piste 07R et 8185 atterrissages ont eu lieu sur la piste 01. Ce scénario conserve le nombre de mouvements en 2019 pour chaque piste, pour montrer dans un premier temps seulement l'effet d'une augmentation de l'angle de descente à $3,5^\circ$.

Le scénario suivant (8c) montre l'effet d'une répartition équilibrée de ces approches entre les 3 pistes non-préférentielles, en plus d'un angle de descente augmenté à $3,5^\circ$.

7.15.4 Résultats de la modélisation

7.15.4.1 Contours Lden du scénario 8b

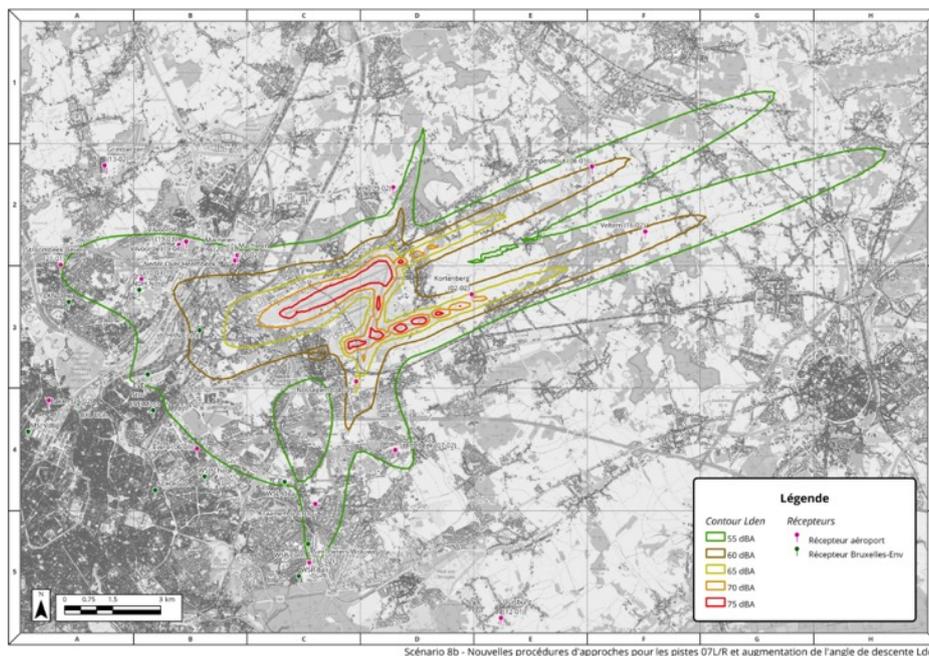


Figure 185 : Scénario 8b, Lden

7.15.4.2 Comparaison du contour Lden 55 dB du scénario 8b avec la base

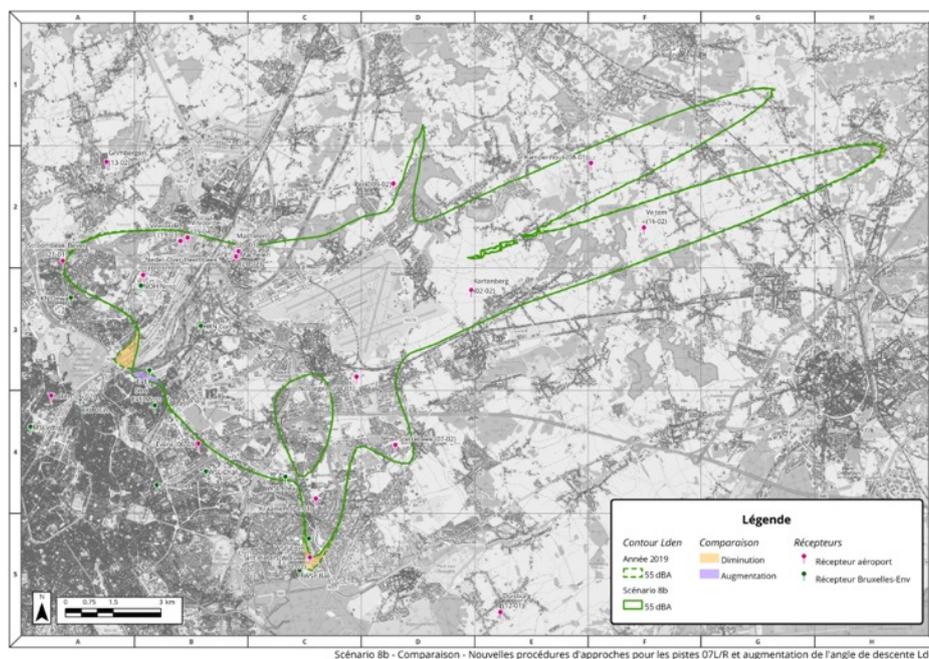


Figure 186 : Différence scénario 8b Lden par rapport au contour Lden 55 dB de la base

7.15.4.3 Contours Lnight du scénario 8b

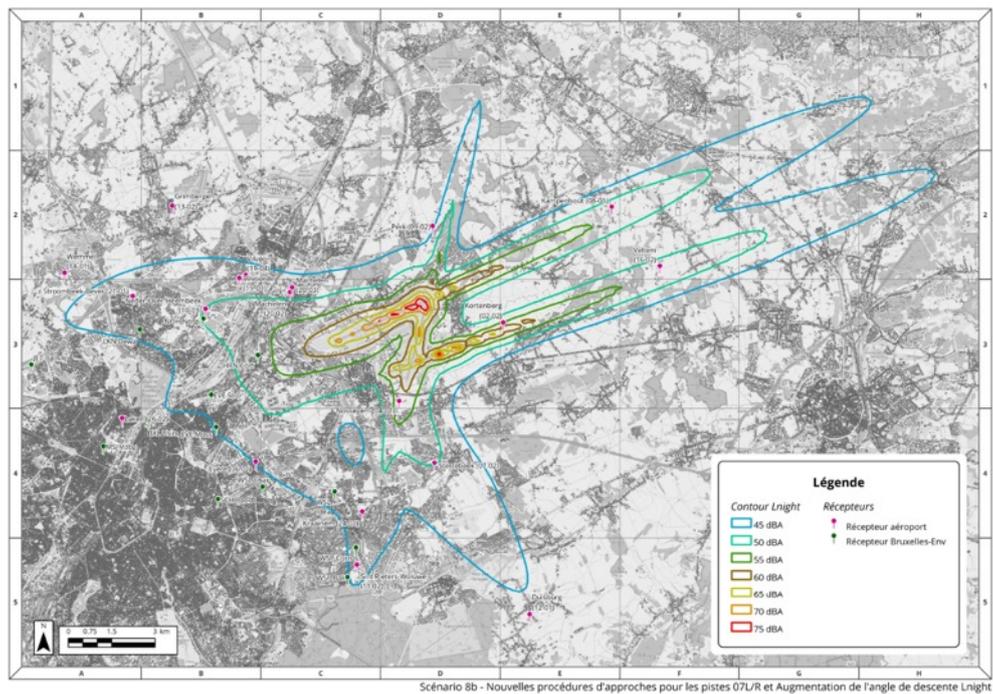


Figure 187 : Scénario 8b, Lnight

7.15.4.4 Comparaison du contour Lnight 45 dB du scénario 8b avec la base

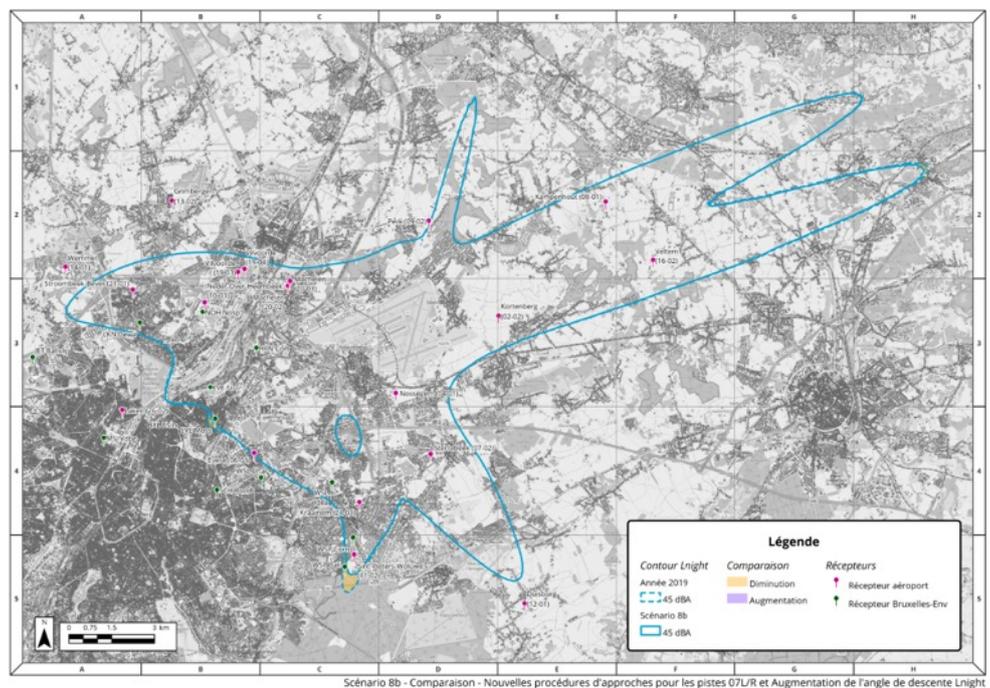


Figure 188 : Différence Scénario 8b Lnight par rapport au contour Lnight 45 dB de la base

7.15.4.5 Comparaison du contour Lden 55 dB du scénario 8b avec le scénario 8a

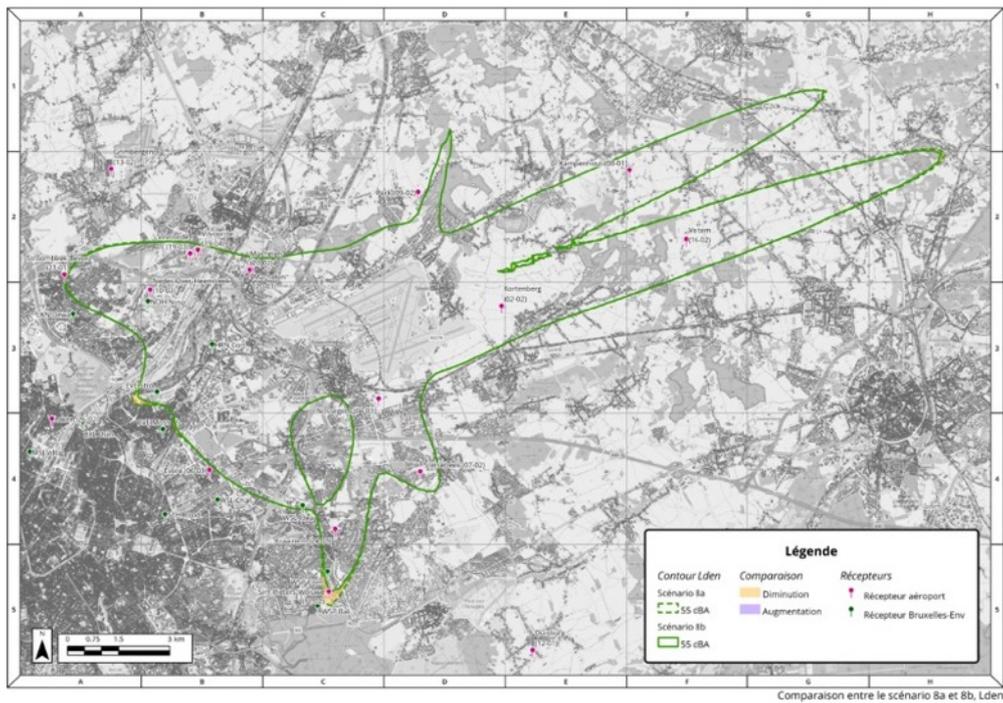


Figure 189 : Différence entre les contours Lden 55 dB des scénarios 8a et 8b

7.15.4.6 Comparaison du contour Lnight 45 dB du scénario 8b avec le scénario 8a

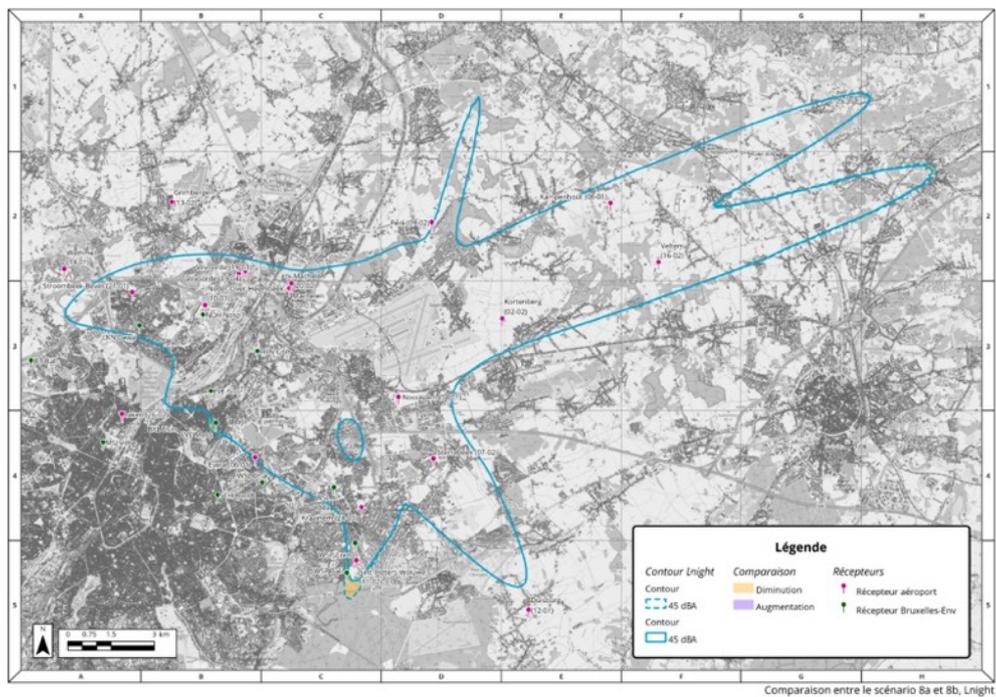


Figure 190 : Différence entre les contours Lden 55 dB des scénarios 8a et 8b

7.15.4.7 Contours N70 night du scénario 8b

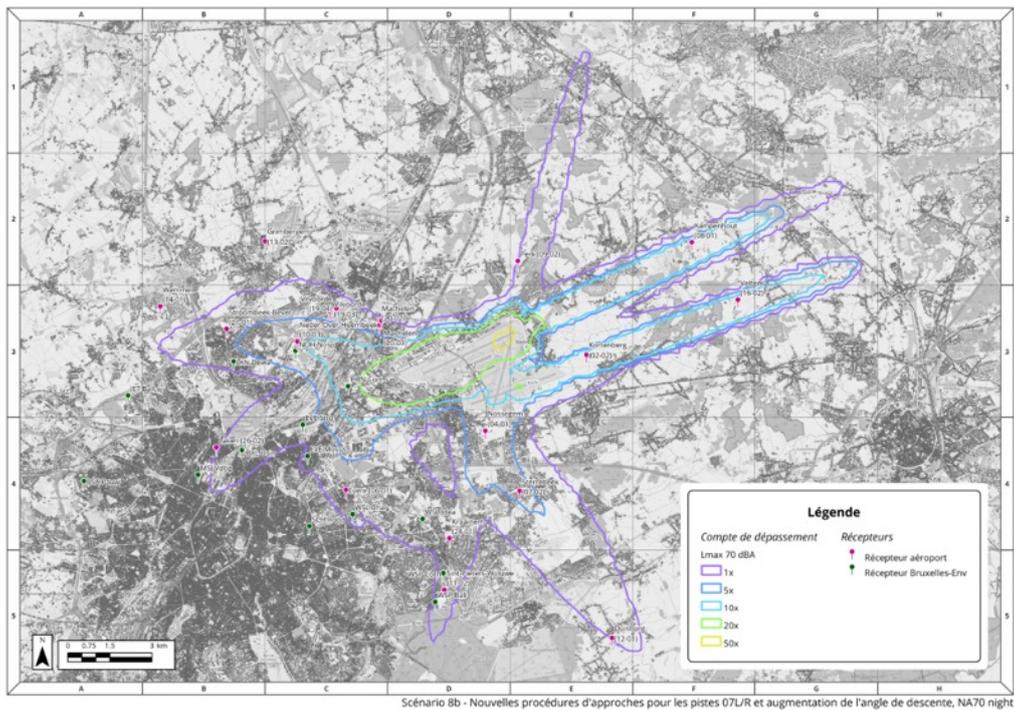


Figure 191 : Scénario 8b, N70 night

7.15.4.8 Comparaison du contour N70 night 1 événement du scénario 8b avec la base

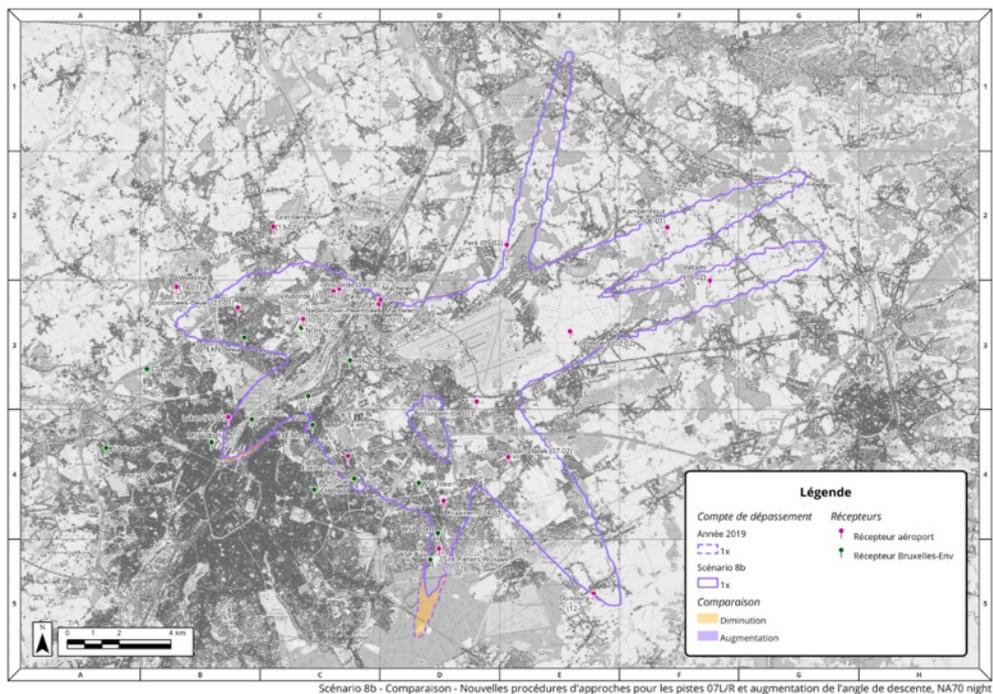


Figure 192 : Différence Scénario 8b N70 night par rapport au contour N70 night 1x de la base

7.15.5 Analyse des résultats

Scénario 8b					
Impacts environnementaux par rapport à la base 2019					
Métriques d'exposition au bruit					
Métriques		Aire exposée		Population exposée	
Métrique	Niveau de bruit (dBA)	Aire (km ²)	Changement(%)	Population	Changement(%)
Lden	55	106.1	-1.5%	120 152	-2.0%
Lnight	45	159.5	-0.9%	212 239	-1.7%
Nombre d'évènements moyen par jour au-dessus d'un niveau Lmax					
Métriques		Aire exposée		Population exposée	
		Aire (km ²)	Changement(%)	Population	Changement(%)
N60 Day + Evening (50x)		206.5	-0.3%	323 277	+0.9%
N70 Day + Evening (5x)		141.0	-2.4%	275 086	-6.1%
N60 Night (10x)		173.3	0.0%	185 035	-0.2%
N70 Night (1x)		143.8	-1.4%	258 317	-3.4%
Estimation de la population fortement gênée					
Métriques		Population impactée			
		Population		Changement (%)	
HA (Lden 55 dBA)		32 122		-2.0	
HSD (Lnight 45 dBA)		31 974		-1.7%	
Facteurs qualitatifs					
Prévisibilité (changement plus ou moins prévisible)		Identique			
Concentration des vols		Approches moins dispersées			
Nouvelles populations exposées au bruit		Oui pour les approches sur la piste 07L			
Consommation de carburant/émissions par rapport à la base		Identique			
Impacts opérationnels					
Capacité des pistes		Améliorée			
Capacité du système ATC		Améliorée			
Complexité du système ATC (et charge de travail)		Réduction			
Impact économique sur les compagnies		Aucun			
Impact sur les compagnies en termes de ressources		Aucun			
Complexité du pilotage		Réduction			
Dépendance au type d'avion		Majorité de la flotte suffisamment équipée pour suivre des trajectoires RNAV et RNP			
Applicabilité					
Court-terme, 0 - 5 ans					

Tableau 65 : Impacts du scénario 8b

Si l'on ajoute un angle de descente plus fort à 3.5° (y compris pour la piste 01), la population exposée est diminuée seulement très faiblement. Les figures 189 et 190 mettent en évidence ces faibles différences par rapport au scénario précédent (8a).

7.16 **Scénario 8c : Nouvelles procédures d’approche pour les pistes 07L/R et augmentation de l’angle de descente pour les approches sur les pistes 07L/R et 01, avec changement de proportion de mouvements**

7.16.1 **Remarques qui ont mené à ce scénario**

L’état belge a demandé quelles seraient les conséquences, en termes de bruit, d’une mise en place de procédures basées sur un ILS pour les pistes 07L et 07R, et de procédures PBN (RNP) pour les pistes non-PRS (07L, 07R et 01). La prise en compte d’un plus grand angle de descente est aussi notifiée. En effet, dans l’ANNEXE AU COURRIER DU 15 FEVRIER 2021 du Ministre de la mobilité, référencé GG/TB/MD/Che-OUT-2160/2021, il est demandé que soit étudié : « *L’installation d’un ILS sur les pistes 07L et 07R* », « *La mise en œuvre de procédures d’approche (PBN ou ILS) pour les pistes non-PRS (piste 01, 07L et 07R) ayant un angle d’approche (glide path) relevé (vers 3,3° ou 3,5°) sachant que ces pistes ne peuvent être utilisées qu’avec un vent de face déjà élevé* », et aussi « *La création d’une voie de sortie rapide sur la piste 07R pour les arrivées* ».

La commune de Jette fait remarquer que « *ce sont les atterrissages ‘à vue’ sur la piste 07L laquelle n’est pas équipée d’un ILS, qui engendrent le plus de nuisances sonores. Les atterrissages se font en effet par une balise de radionavigation (VOR) et non via un système de navigation satellite.* »

Le Gouvernement de la Région de Bruxelles-Capitale demande aussi que soit évaluées des « *modifications de l’utilisation des pistes à l’atterrissage* ».

Les communes de Kraainem et de Wezembeek-Oppem demandent « *que les pistes 07R/L soient, elles aussi, équipées d’urgence des nouvelles technologies de précision et de sécurité, de manière à permettre les atterrissages sur base de la technologie RNP/PBN et pouvoir être opérationnelles pour recevoir également les atterrissages de jour et de nuit de l’aéroport* ».

7.16.2 **Commentaires et faisabilité du scénario**

Les commentaires rédigés dans le scénario 8a sont aussi valables pour ce scénario.

Commentaires sur l’utilisation de la piste 01

Dans la [section relative au vent et au PRS](#), les statistiques d’utilisation du PRS sont présentées. Elles indiquent que le PRS était en vigueur pour 78% des mouvements de 2018 et 84% des mouvements de 2019. Dans la grande majorité des cas, l’utilisation des pistes alternatives, y compris la 01, résulte de conditions météorologiques défavorables.

Le site www.batc.be fournit également des statistiques détaillées sur l'utilisation des pistes :

Piste	% des arrivées de 2018	% des arrivées de 2019
01	14%	7%
07L	5%	6%
07R	1%	1%

Tableau 66 : Utilisation des pistes alternatives pour les arrivées (hors hélicoptères et vols militaires) en 2018 et 2019

La piste 01 a représenté 14% des arrivées en 2018 (un peu plus de 16000 mouvements) et 7% des arrivées en 2019 (un peu plus de 8000 mouvements). Cette piste est en revanche très peu utilisée pour les départs. Les pistes 07L/R, faisant également partie du système de pistes alternatives, sont en comparaison peu utilisées pour les arrivées. Pourtant, elles sont plus longues que la piste 01. Cela s'explique partiellement par les raisons suivantes :

- Les pistes 07L et 07R ne sont équipées que de procédures d'approche VOR, qui sont des approches dites de non-précision impliquant des minima de percée élevés et donc une probabilité de réussite de l'approche plus faible en cas de plafond bas et/ou de mauvaise visibilité.
- La piste 01, quant à elle, est équipée d'un ILS CAT I, permettant des approches dites de précision, avec des minima de percée plus bas, ce qui augmente la probabilité de pouvoir engager la procédure en cas de plafond bas et/ou mauvaise visibilité.
- La piste 07R ne dispose pas de taxiways de sortie sur toute sa longueur, et donc un atterrissage un peu long impliquerait de devoir remonter entièrement la piste afin d'opérer un demi-tour sur la raquette dédiée à son extrémité, puis de sortir au premier taxiway sur la droite. Le temps d'occupation de la piste est considérablement augmenté et cela impacte fortement les capacités d'absorption de trafic et la consommation de carburant.

Pour plus d'informations sur les types d'approche et les contraintes associées, nous invitons le lecteur à lire la [partie dédiée](#) à ce sujet.

L'utilisation significative de piste 01 est indéniable et le survol des habitations situées sous la trajectoire d'approche finale génère incontestablement du bruit de manière répétée. L'utilisation de cette piste s'inscrit cependant bien dans le cadre d'une application normale des règles du PRS, la piste 01 étant l'une des pistes alternatives utilisables. La présence de l'ILS incite les pilotes et contrôleurs à favoriser la piste 01 quand cela est possible. L'installation d'un ILS sur les pistes 07R et 07L aurait pour effet une meilleure répartition des approches sur les trois pistes 07L, 07R et 01. De plus la piste 07L est mieux équipée pour les sorties des aéronefs après l'atterrissage. Concernant la piste 07R, il faudrait alors envisager la prolongation vers l'Est du taxiway parallèle à la piste, après V1, afin de permettre aux aéronefs de sortir de la piste sans avoir à opérer un demi-tour sur celle-ci, cela augmentant considérablement le temps d'occupation et donc la capacité opérationnelle. Cela rejoint également les modifications d'infrastructure du scénario n°1.

Cette installation d'ILS est cependant coûteuse, et ne permettrait pas de reporter tout le trafic de la piste 01 vers les autres pistes 07L/R. Cette solution permettrait cependant probablement d'affecter plus d'arrivées aux pistes 07L/R lorsque le PRS n'est pas actif.

Il serait également possible de remettre en place des procédures RNP avec des minimas à minimum LNAV/VNAV, voir LVP, afin de permettre des approches ILS-like sur ces pistes. Cependant, beaucoup d'avions ne sont pas encore équipés pour effectuer des approches LPV, et devraient donc se contenter d'une LNAV/VNAV, qui reste moins performante qu'une approche ILS. Cette solution est moins coûteuse mais permettrait probablement un plus faible report des arrivées vers les pistes 07L/R.

De plus, nous attirons l'attention sur le fait que durant les travaux effectués sur le VOR BUB du 8 novembre 2018 au 13 décembre 2018, les travaux semblent avoir entraîné une augmentation des arrivées sur la piste 07L, comme le montre le tableau suivant :

Piste	Janv	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec	Total 2018
01	6,9%	37,9%	8,1%	5,0%	18,6%	34,4%	14,8%	5,7%	10,3%	17,1%	4,6%	5,0%	13,6%
07L	0,3%	5,1%	9,3%	4,1%	10,8%	0,3%	6,8%	1,7%	3,1%	1,5%	10,8%	1,7%	4,5%
07R	0,2%	1,7%	5,7%	0,0%	0,4%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,6%

Tableau 67 : Utilisation des pistes alternatives pour les arrivées en 2018 (hors hélicoptères et vols militaires)

C'est également le cas lors des travaux effectués sur le VOR BUB en 2019, du 16 août au 16 septembre :

01	227
07L	457
07R	5
19	134
25L	6572
25R	3484

Figure 193 : Nombre d'arrivées par piste pour la période du 16 août au 16 septembre 2019

Lors de cette période, les proportions de trafic pour les arrivées sur les pistes 01, 07L et 07R sont similaires à celles lors des travaux sur la balise BUB en 2018.

Nous avons également généré le contour Lden 55db pour cette période (16/08/2019 – 16/09/2019) en violet ci-dessous, avec le contour 55db représentant la base pour l'année 2019 entière en orange.



Figure 194 : Contour Lden 55dB pour la période des travaux sur la balise BUB en 2019 avec les traces des approches sur la piste 07L (rose) et contour Lden 55 dB de la base 2019 (orange)

Le contour est globalement plus large pour cette période car le trafic était plus important en été, mais on peut voir que la pointe du contour correspondant aux approches sur la piste 01 est moins forte.

Seulement une partie des approches (159 sur 457) semble avoir suivi une trajectoire sans offset, c'est-à-dire suivant l'axe de la piste 07L, et toutes le même jour : le 14/09/2019.

Même si l'échantillon de temps sur lequel cette situation était en place est faible, dans les 2 cas on peut dire qu'il y a eu un report des arrivées sur la piste 07L avec la procédure PBN. Dans les deux cas la proportion des approches sur la 07L était deux fois plus grande que sur la piste 01. Si la piste 07R était améliorée, nous faisons l'hypothèse que les approches sur les trois pistes 01, 07L, 07R, seraient réparties dans les mêmes proportions.

7.16.3 Explication du scénario modélisé

Les trajectoires utilisées dans ce scénario sont les mêmes que pour les scénarios 8a et 8b. Les approches ont été réparties équitablement sur les 3 pistes (un tiers, soit 5300 approches pour chaque piste sur l'année).

L'angle de descente est toujours augmenté à 3,5°.

7.16.4 Résultats de la modélisation

7.16.4.1 Contours Lden du scénario 8c

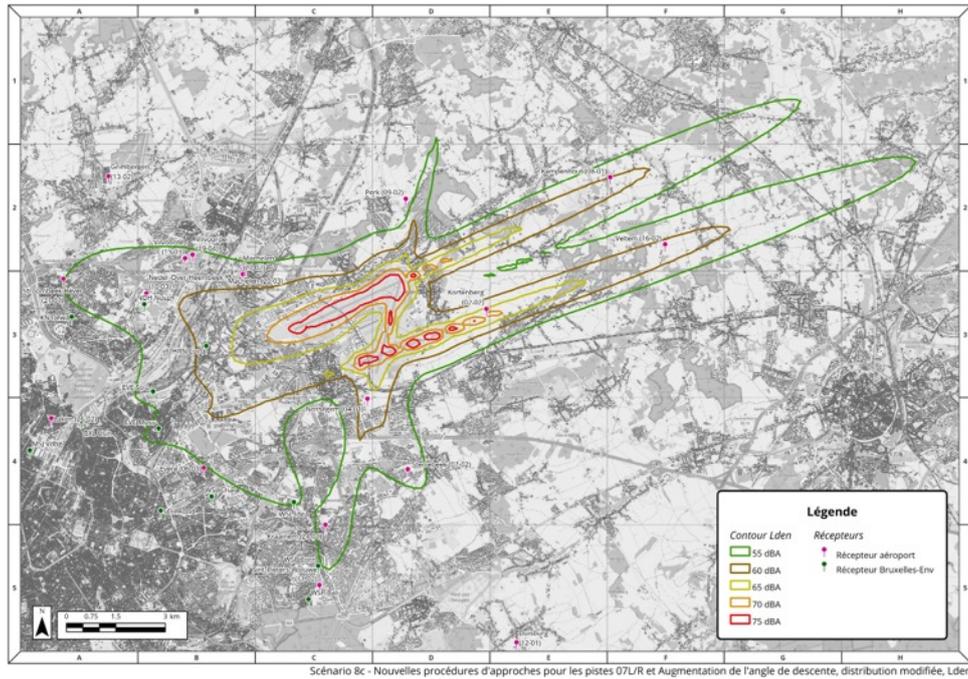


Figure 195 : Scénario 8c, Lden

7.16.4.2 Comparaison du contour Lden 55 dB du scénario 8c avec la base

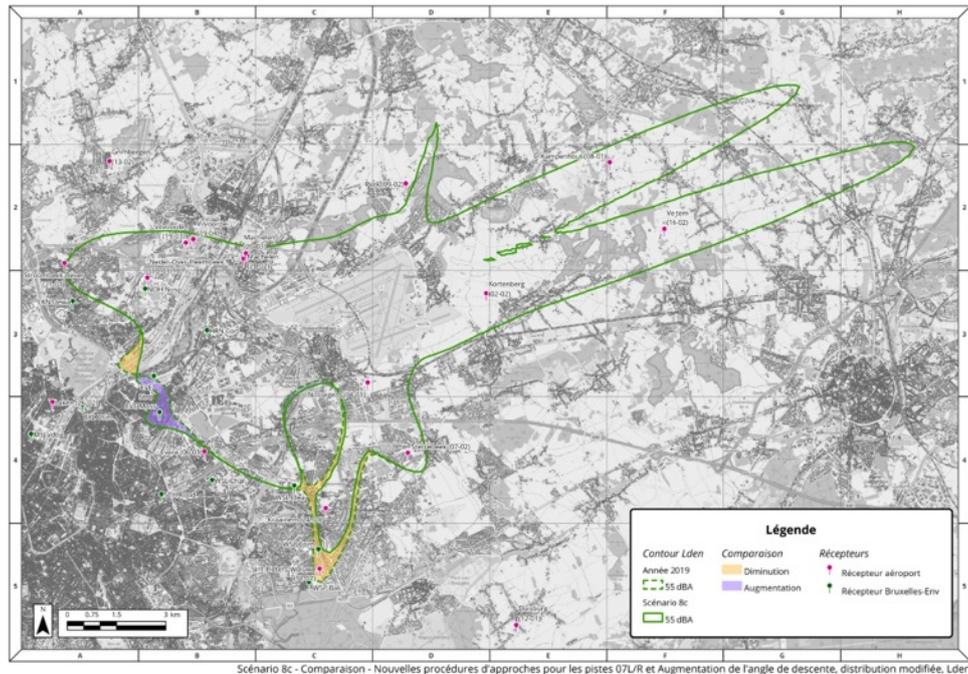


Figure 196 : Différence scénario 8c Lden par rapport au contour Lden 55 dB de la base

7.16.4.3 Contours Lnight du scénario 8c

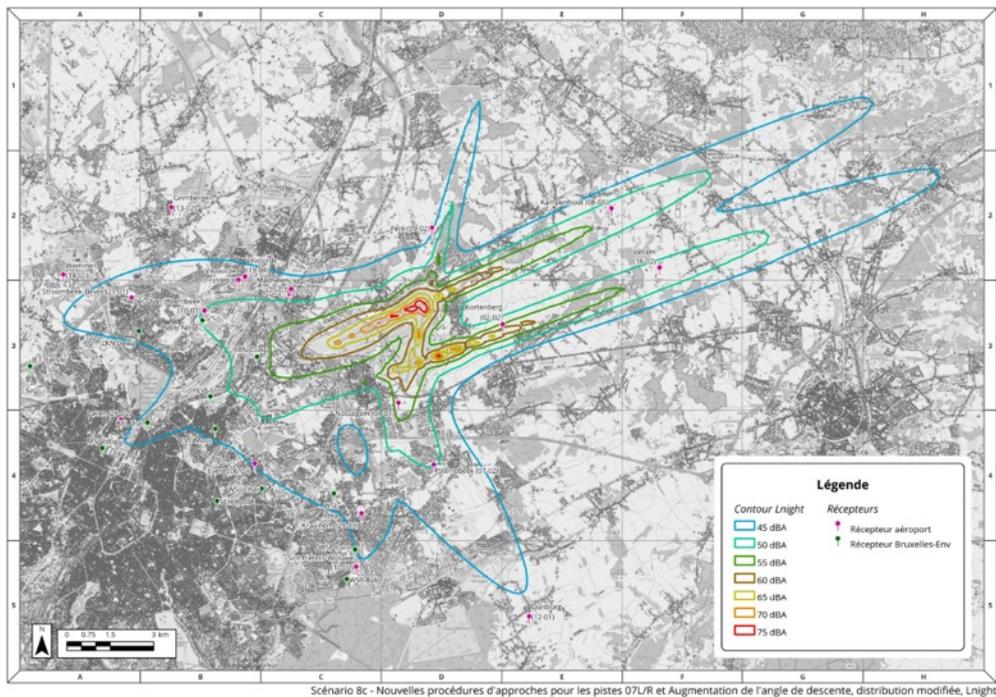


Figure 197 : Scénario 8c, Lnight

7.16.4.4 Comparaison du contour Lnight 45 dB du scénario 8c avec la base

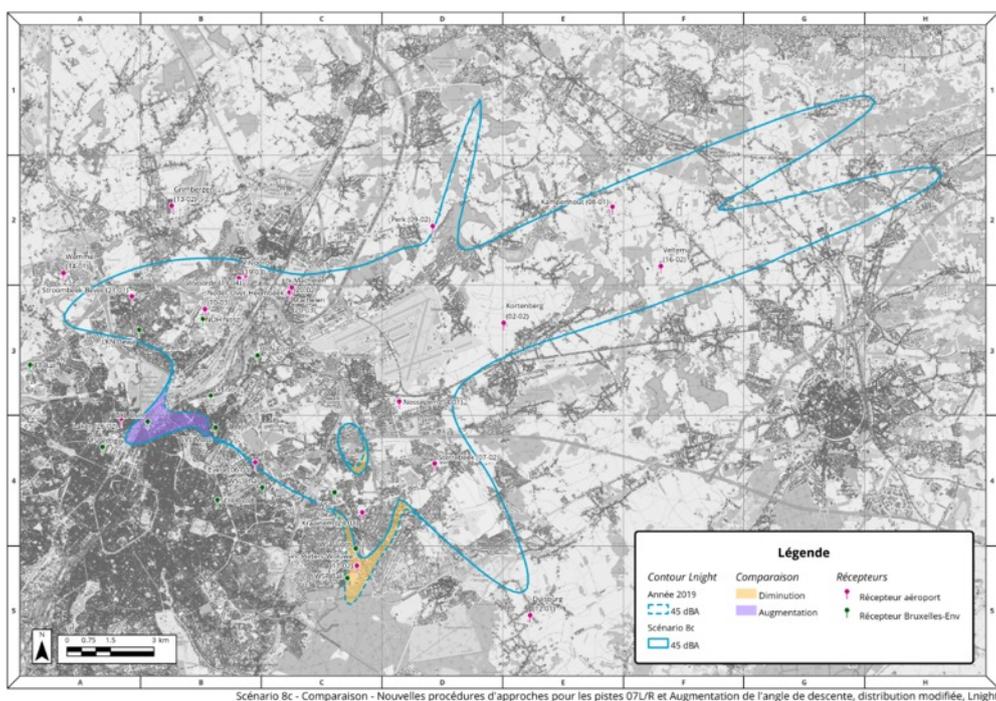


Figure 198 : Différence Scénario 8c Lnight par rapport au contour Lnight 45 dB de la base

7.16.4.5 Contours N70 night du scénario 8c

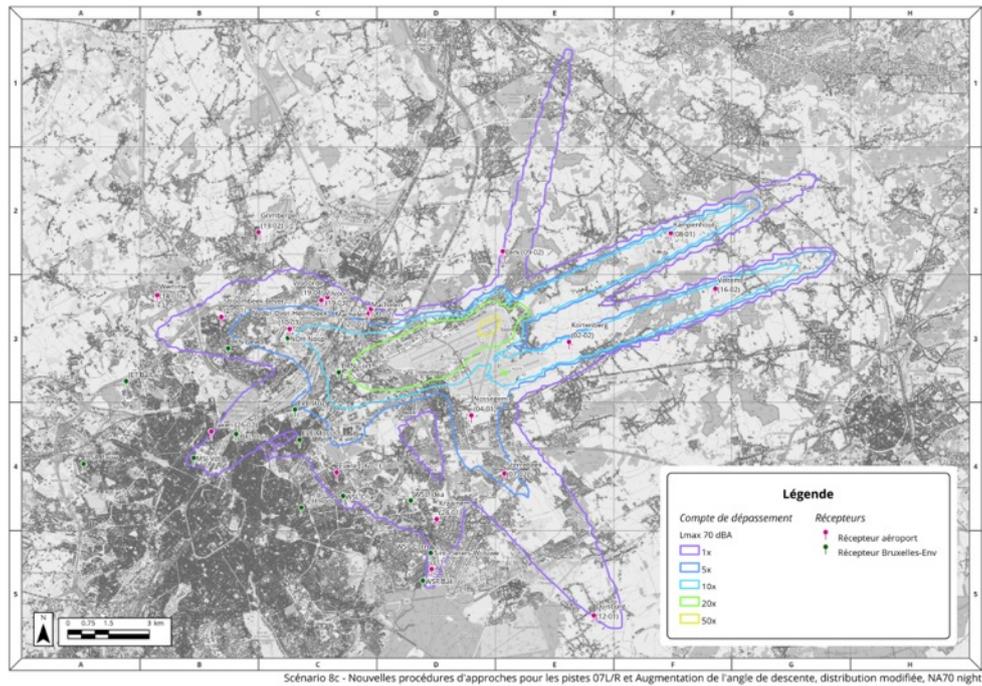


Figure 199 : Scénario 8c, N70 night

7.16.4.6 Comparaison du contour N70 night 1 évènement du scénario 8c avec la base

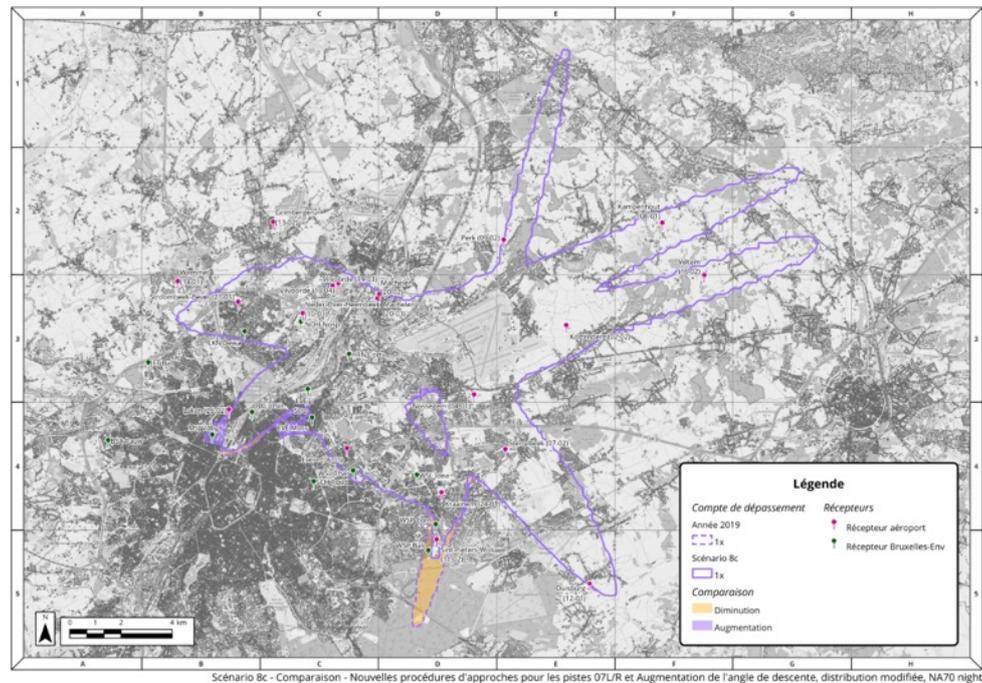


Figure 200 : Différence Scénario 7 N70 night par rapport au contour N70 night 1x de la base

7.16.5 Analyse des résultats

Scénario 8c					
Impacts environnementaux par rapport à la base 2019					
Métriques d'exposition au bruit					
Métriques		Aire exposée		Population exposée	
Métrique	Niveau de bruit (dBA)	Aire (km ²)	Changement(%)	Population	Changement(%)
Lden	55	106.6	-1.0%	129 709	+5.8%
Lnight	45	160.7	-0.2%	239 660	+11.0%
Nombre d'évènements moyen par jour au-dessus d'un niveau Lmax					
Métriques		Aire exposée		Population exposée	
		Aire (km ²)	Changement(%)	Population	Changement(%)
N60 Day + Evening (50x)		205.5	-0.7%	328 057	+2.4%
N70 Day + Evening (5x)		142.3	-1.6%	292 342	-0.2%
N60 Night (10x)		169.7	-2.1%	180 894	-2.4%
N70 Night (1x)		143.9	-1.3%	272 811	+2.0%
Estimation de la population fortement gênée					
Métriques		Population impactée			
		Population	Changement (%)		
HA (Lden 55 dBA)		34 677	+5.8%		
HSD (Lnight 45 dBA)		36 105	+11.0%		
Facteurs qualitatifs					
Prévisibilité (changement plus ou moins prévisible)		Plus d'approches sur les pistes 07L/R ; moins sur la piste 01			
Concentration des vols		Approches moins dispersées ; l'ensemble des approches sur les pistes non-PRS est réparti équitablement			
Nouvelles populations exposées au bruit		Oui pour les approches sur les pistes 07L et 07R			
Consommation de carburant/émissions par rapport à la base		Identique			
Impacts opérationnels					
Capacité des pistes		Améliorée			
Capacité du système ATC		Améliorée			
Complexité du système ATC (et charge de travail)		Réduction			
Impact économique sur les compagnies		Aucun			
Impact sur les compagnies en termes de ressources		Aucun			
Complexité du pilotage		Réduction			
Dépendance au type d'avion		Majorité de la flotte suffisamment équipée pour suivre des trajectoires RNAV et RNP			
Applicabilité					
Court-terme, 0 - 5 ans					

Tableau 68 : Impacts du scénario 8c

Dans le cas où ces nouvelles procédures s'accompagnent d'une répartition équitable des approches sur les pistes non-PRS (concentration sur la piste 01 diminuée), la population globale exposée est plus grande car beaucoup plus d'approches survolent le centre de Bruxelles, en revanche il y a moins de nuisances pour les communes au Sud de l'aéroport sous le couloir d'approche de la piste 01. Un plus grand nombre d'atterrissages sur la piste 07R implique aussi la construction d'une voie de sortie rapide pour cette piste, c'est-à-dire un nouveau taxiway (qui serait aussi celui utilisé dans le scénario n°1), pour que la capacité de cette piste soit améliorée. Enfin comme dans les cas précédents, les aspects de pilotage et d'ATC seraient améliorés.

7.17 Scénario 9 : Nouvelles trajectoires proposées pour les départs sur la piste 25R

7.17.1 Remarques qui ont mené à ce scénario

Le Gouvernement de la Région de Bruxelles-Capitale demande que soit évaluées des « *modifications de l'utilisation des routes de départ : utilisation de routes alternatives existantes, suppression de routes existantes, avec ou sans changement de pistes de départ/arrivées* » ainsi que des « *modifications du tracé des routes de départ : optimisation des itinéraires en termes de bruit (avec un suivi et un contrôle des trajectoires adéquats) et du nombre de personnes exposées* ».

Les communes de Kraainem, de Wezembeek-Oppeem et de Woluwe Saint Pierre se plaignent également du grand nombre de décollages de la piste 25R avec virage gauche les survolant. En 2019, cela représente environ 45 000 départs.

Les communes du Canal, survolées par la « route du Canal », se plaignent aussi des nuisances sonores. Elles ont été survolées par 7500 décollages.

7.17.2 Commentaires et faisabilité du scénario

Nous avons dessiné des nouvelles trajectoires pour les départs de la piste 25R qui remplacent les routes avec virage gauche, route du Canal et route du Ring. Ces trajectoires suivent la même route initiale, et survolent les zones les moins densément peuplées. L'inconvénient principal est que les trajectoires originellement avec virage gauche seraient considérablement allongées.

Ces trajectoires de départ sont hypothétiques car elles ne prennent pas en compte des éléments de sécurité comme le contournement d'obstacles. En d'autres termes, les considérations pour la conception des standards des procédures décrites dans le document de l'OACI 8168 « Procedures for Air Navigation Services » (PAN-OPS) n'ont pas été étudiées.

Les tracés hypothétiques assument que l'avion serait équipé correctement avec l'équipement de navigation approprié et que l'équipage serait entraîné à voler selon la navigation basée sur les performances (PBN) en

utilisant un équipement d'area navigation (la navigation de surface, RNAV), qui est capable d'effectuer des procédures de départ qui incluent des arcs avec des rayons constants entre les points de passage à la fin de chaque segment. Ces arcs constants sont connus sous le nom de segments RF (Radius to Fix). Un segment RF définit un virage avec un rayon constant entre deux éléments d'une procédure : une ligne tangente à un arc, et un centre fixe. L'avion doit maintenir un rayon constant par rapport au centre tout au long de l'arc.

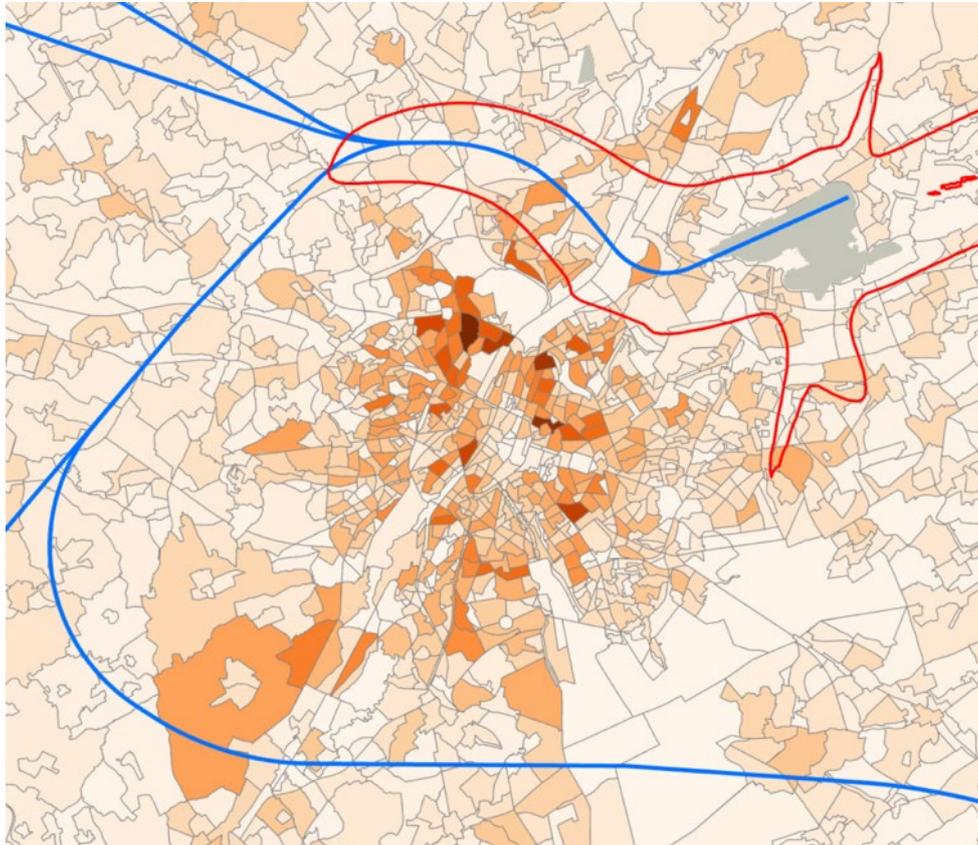


Figure 201 : Traces des départs de la piste 25R dans le scénario 9 qui évitent les zones les plus densément peuplées



Figure 202 : Carte avec le tracé des départs de la piste 25R dans le scénario 9

7.17.3 Explication du scénario modélisé

Nous avons modélisé les nouvelles trajectoires avec uniquement des backbones tracks, car elles sont conçues pour être suivies précisément.

Les départs avec virage gauche ont tous été remplacés par la trajectoire ci-dessous qui contourne la capitale.

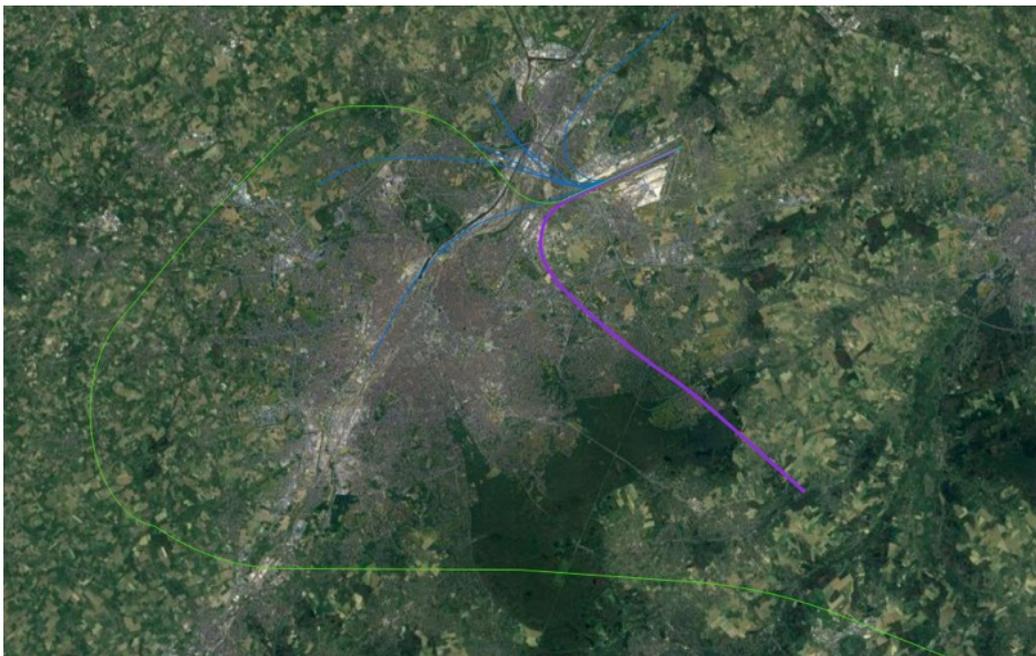


Figure 203 : Trajectoire du scénario 9 qui remplace les départs avec virage gauche

Les départs sur les routes du Canal et route du Ring ont tous été remplacés par cette trajectoire :



Figure 204 : Trajectoire du scénario 9 qui remplace la route du Canal

Et les départs en direction du Nord-Ouest (en violet ci-dessous) ont tous été remplacés par les trajectoires suivantes :

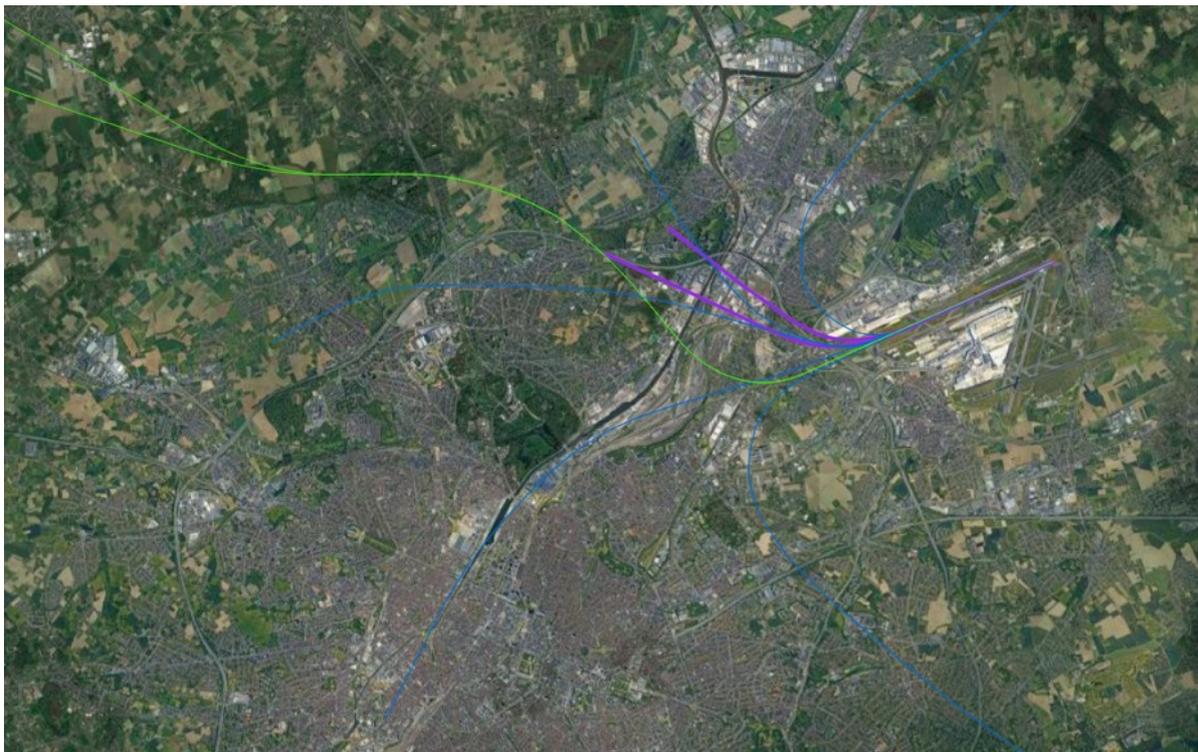


Figure 205 : Trajectoires du scénario 9 qui remplacent les départs en direction du Nord-Ouest

Les départs vers le Nord ('Route du Nord') n'ont pas été modifiés.

Dans ce scénario, les communes du Canal, de Woluwe Saint Pierre, de Kraainem et de Wezembeek-Oppem ne sont donc plus survolées par les départs.

7.17.4 Résultats de la modélisation

7.17.4.1 Contours Lden du scénario 9

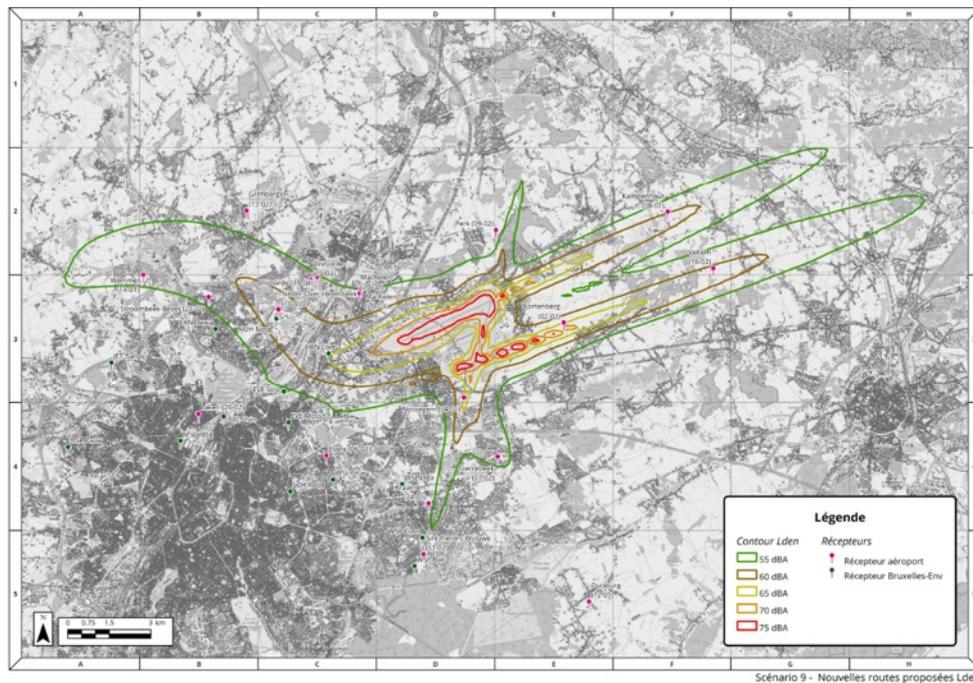


Figure 206 : Scénario 9, Lden

7.17.4.2 Comparaison du contour Lden 55 dB du scénario 9 avec la base

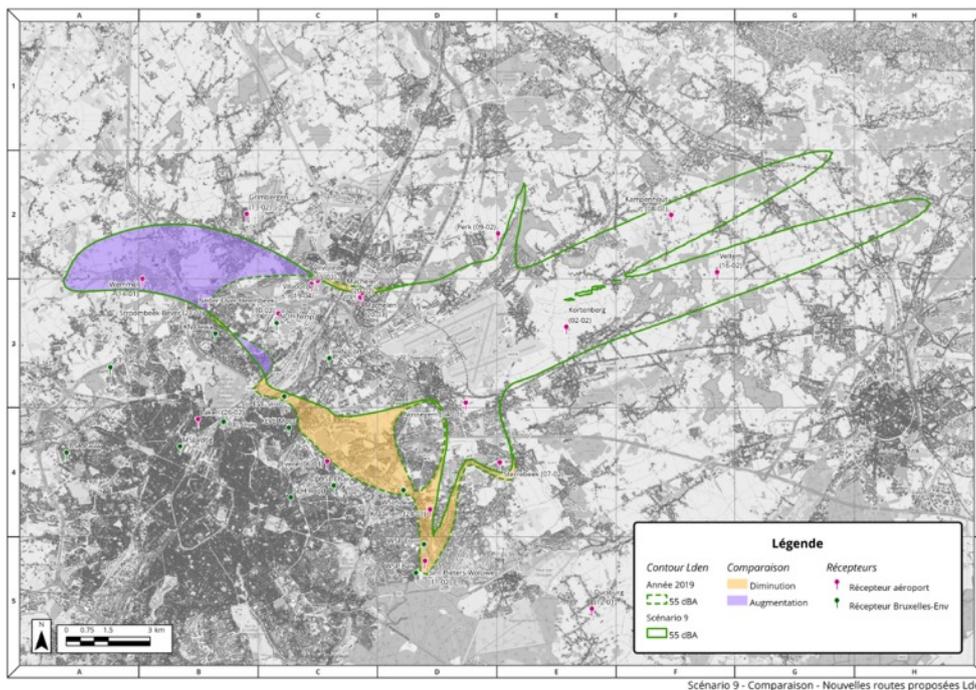


Figure 207 : Différence scénario 9 Lden par rapport au contour Lden 55 dB de la base

7.17.4.3 Contours Nlight du scénario 9

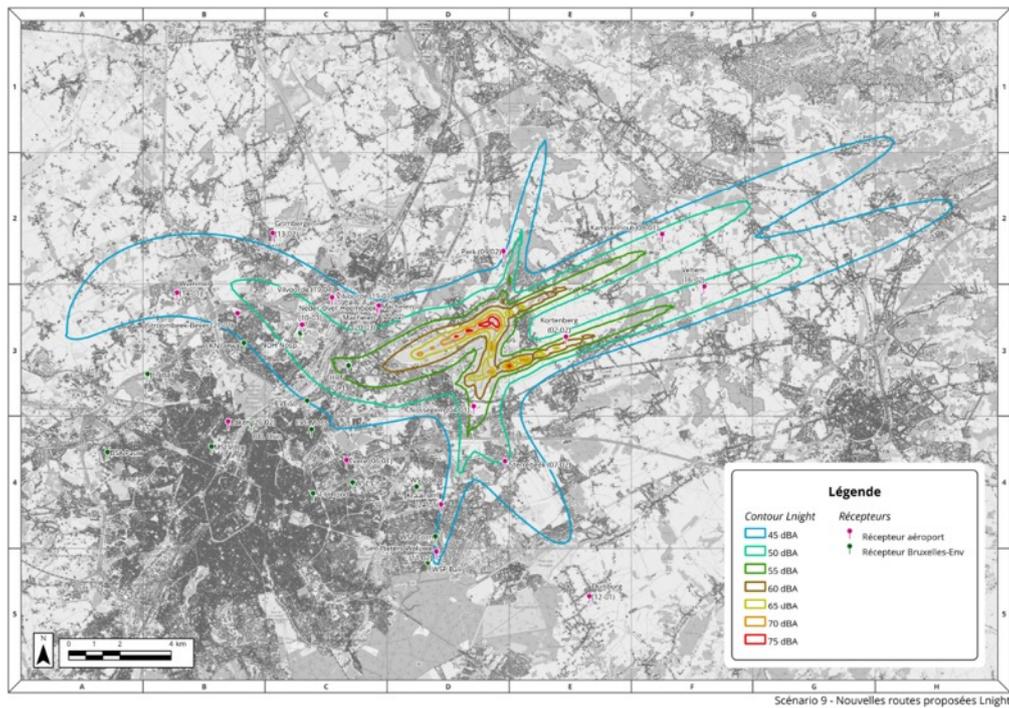


Figure 208 : Scénario 9, Nlight

7.17.4.4 Comparaison du contour Nlight 45 dB du scénario 9 avec la base

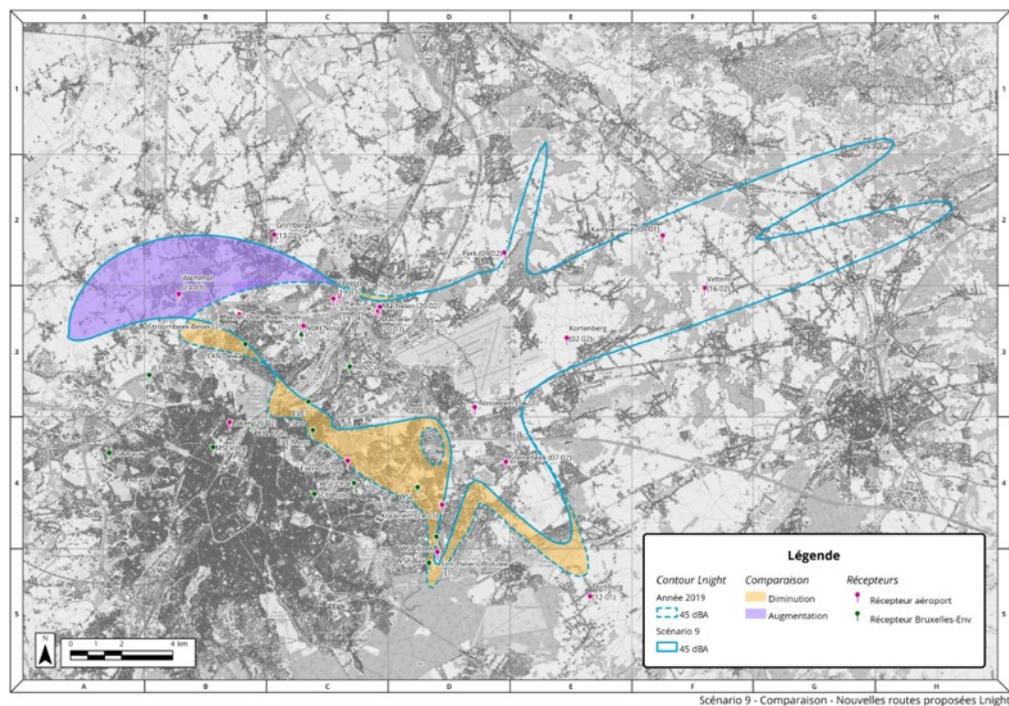


Figure 209 : Différence Scénario 9 Nlight par rapport au contour Nlight 45 dB de la base

7.17.4.5 Contours N70 night du scénario 9

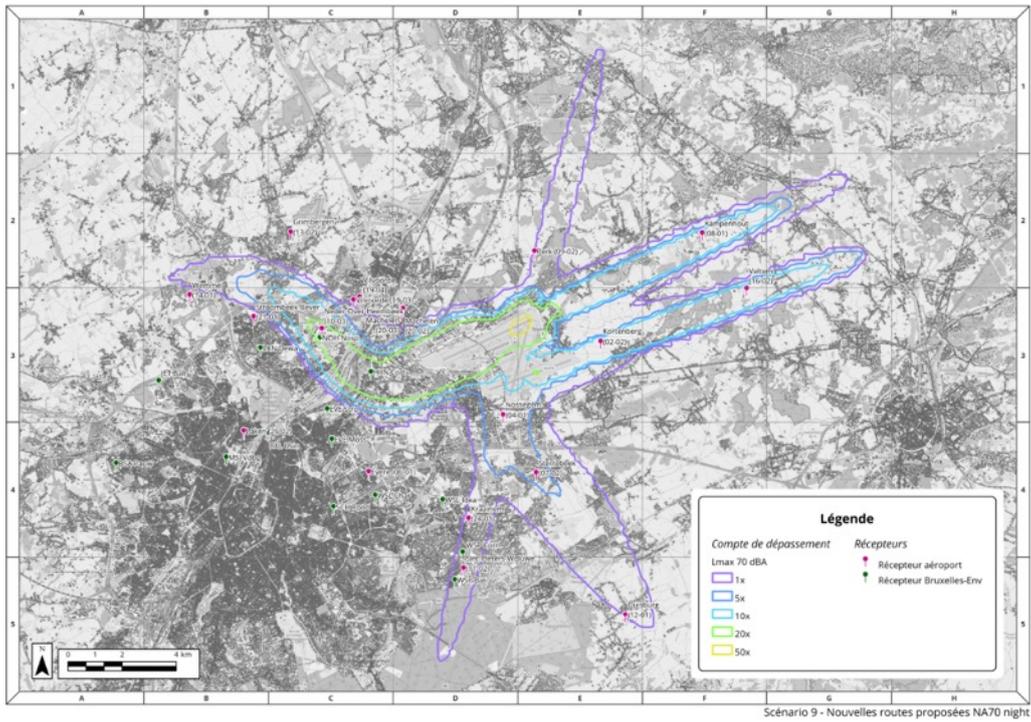


Figure 210 : Scénario 9, N70 night

7.17.4.6 Comparaison du contour N70 night 1 évènement du scénario 9 avec la base

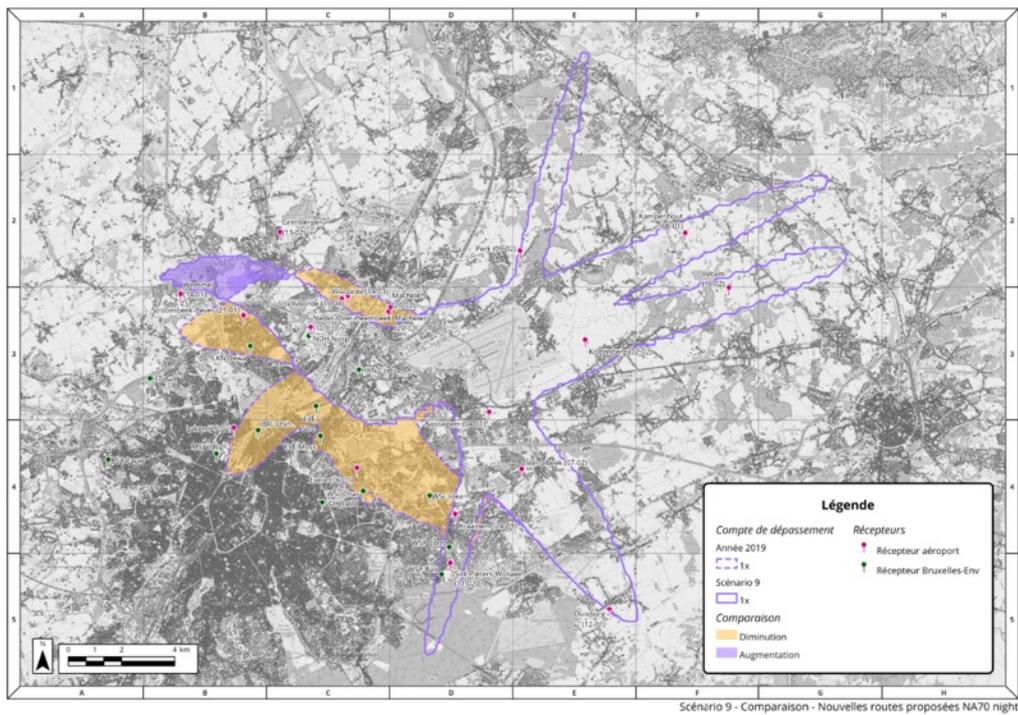


Figure 211 : Différence Scénario 9 N70 night par rapport au contour N70 night 1x de la base

7.17.5 Analyse des résultats

Scénario 9					
Impacts environnementaux par rapport à la base 2019					
Métriques d'exposition au bruit					
Métriques		Aire exposée		Population exposée	
Métrique	Niveau de bruit (dBA)	Aire (km ²)	Changement(%)	Population	Changement(%)
Lden	55	110.7	+2.8%	102 799	-16.1%
Lnight	45	159.2	-1.1%	154 324	-28.5%
Nombre d'évènements moyen par jour au-dessus d'un niveau Lmax					
Métriques		Aire exposée		Population exposée	
		Aire (km ²)	Changement(%)	Population	Changement(%)
N60 Day + Evening (50x)		203.2	-1.8%	196 373	-38.7%
N70 Day + Evening (5x)		115.9	-19.8%	126 121	-56.9%
N60 Night (10x)		185.4	+6.9%	173 217	-6.5%
N70 Night (1x)		118.2	-19.0%	104 170	-61.1%
Estimation de la population fortement gênée					
Métriques		Population impactée			
		Population	Changement (%)		
HA (Lden 55 dBA)		27 483	-16.1%		
HSD (Lnight 45 dBA)		23 249	-28.5%		
Facteurs qualitatifs					
Prévisibilité (changement plus ou moins prévisible)		+ prévisible			
Concentration des vols		Vols beaucoup plus concentrés			
Nouvelles populations exposées au bruit		Oui			
Consommation de carburant/émissions par rapport à la base		Beaucoup plus élevée pour les départs en direction du Sud-Est			
Impacts opérationnels					
Capacité des pistes		Capacité de la piste 25R réduite ; congestion			
Capacité du système ATC		Réduite			
Complexité du système ATC (et charge de travail)		Réduite			
Impact économique sur les compagnies		Identique			
Impact sur les compagnies en termes de ressources		Départs en direction du Sud-Est nécessitent plus de carburant et rallongement du temps de trajet			
Complexité du pilotage		Plus simple			
Dépendance au type d'avion		Majorité de la flotte suffisamment équipée pour suivre des trajectoires RNAV et RNP			
Applicabilité					
Court-terme, 0 - 5 ans					

Tableau 69 : Impacts du scénario 9

Le scénario 9 concentre les vols au départ de la piste 25R sur une seule route initiale qui survole les zones les moins densément peuplées. Elle est censée être suivie selon les standards PBN pour limiter au maximum la dispersion autour d'elle. Elle permet de réduire la population exposée au bruit de façon significative (presque -30% pour Lnight, presque -60% pour les métriques N70). Le contour Lden 55 dB(A) s'étend largement à l'Est (Communes de Wemmel et Sud de Grimbergen) mais sur des zones beaucoup moins densément peuplées. Les Communes au Sud de l'aéroport ne sont plus survolées, les Communes du Canal non plus. Les inconvénients sont que les émissions de polluants sont beaucoup plus grandes car les départs originellement avec virage gauche en direction du Sud-Est sont considérablement rallongés. D'autre part la capacité de la piste 25R est réduite à cause du nombre importants de décollages qui suivent la même trajectoire en aval.

8 Résumé des observations sur les résultats des scénarios

8.1 Scénario 1

Les différentes variations du scénario 1 concernent toutes un déplacement des départs avec virage gauche. La population exposée est globalement diminuée, surtout dans les cas où le virage gauche a lieu à 700 ft, car les communes au Sud-Ouest de l'aéroport sont moins exposées, en revanche l'impact sur les communes au Sud de l'aéroport est plus fort. L'investissement dans l'infrastructure est conséquent mais la capacité des pistes est améliorée.

8.2 Scénario 2

Les différentes variations du scénario 2 montrent les effets d'une extension de la nuit opérationnelle, d'une réduction des vols de nuit supplémentaire et d'une suppression des vols la nuit. Cela a évidemment un effet positif énorme sur les contours de bruit, mais l'attractivité de l'aéroport pour les compagnies est diminuée. En effet réduire les heures d'opérations des compagnies affecte significativement leur rentabilité car il devient difficile de maximiser leur nombre de rotations par jour.

8.3 Scénario 3

Une diminution moyenne du vectoring ne se traduit pas par une forte réduction de la population exposée, en revanche le respect des routes établies empêcherait les survols anormaux de se produire.

8.4 Scénario 4

Une diminution forte du vectoring a des petits effets positifs sur le nombre de personnes exposées, mais comme pour le scénario 3, il n'y aurait pas de déviation en dehors des routes établies. Pour les contrôleurs, la charge de travail est allégée.

8.5 Scénario 5

Les départs de la piste 25R à partir du seuil physique de la piste entraînent une diminution du nombre de personnes exposées au bruit. Dans les périodes où les pistes 25R et 19 sont utilisées conjointement, il faudrait rabattre les départs de la piste 19 sur la 25R mais cela réduirait la capacité de la piste et la dispersion entre les pistes originellement voulue.

8.6 Scénario 6

La modernisation de la flotte a indéniablement un impact positif sur les contours de bruit. Les émissions de polluants seront aussi réduites. Les compagnies peuvent être incitées à renouveler leurs flottes en adaptant les taxes au type d'avion.

8.7 Scénario 7

Il y a comme attendu une réduction de la population exposée dans le contour Lden 55 dB, cependant la suppression des vols cargos implique une attractivité diminuée de l'aéroport de Bruxelles.

8.8 Scénario 8

La mise en place de procédures RNP ou d'un ILS pour les pistes 07L/R, sans modification de la répartition des atterrissages sur les pistes 01, 07L et 07R (scénario 8a), ne diminue pas les nuisances sonores. Si l'on ajoute un angle de descente plus fort à 3.5° (y compris pour la piste 01, c'est le scénario 8b), la population exposée est diminuée seulement très faiblement. Enfin dans le cas où ces mesures sont mises en place avec une répartition équitable des approches sur les pistes non-PRS (concentration sur la piste 01 diminuée, scénario 8c), la population globale exposée est plus grande car beaucoup plus d'approches survolent le centre de Bruxelles, en revanche il y a moins de nuisances pour les communes au Sud de l'aéroport sous le couloir d'approche de la piste 01.

8.9 Scénario 9

Le scénario 9 concentre les vols au départ de la piste 25R sur une seule route initiale qui survole les zones les moins densément peuplées. Elle est censée être suivie selon les standards PBN pour limiter au maximum la dispersion autour d'elle. Elle permet de réduire la population exposée au bruit de façon significative, par contre, d'une part les émissions de polluants sont beaucoup plus grandes car les départs en direction du Sud-Est sont considérablement rallongés et d'autre part la capacité de la piste 25R est réduite à cause du nombre importants de décollages qui suivent la même trajectoire en aval.

Glossaire

ADF	Automatic Direction Finder <i>Radiocompas Automatique</i>
AIP	Aeronautical Information Publication <i>Publication d'Informations Aéronautiques</i>
ATIS	Automatic Terminal Information Service <i>Service Automatique d'Information de Région Terminale</i>
BATC	Brussels Airport Traffic Control <i>Contrôle du Trafic de l'Aéroport de Bruxelles</i>
BRU	Brussels Airport (IATA code) <i>Aéroport de Bruxelles (code IATA)</i>
DME	Distance Measuring Equipment <i>Équipement de Mesure de la Distance</i>
DNL	Day Night Level <i>Niveau Jour-Nuit</i>
EASA	European Union Aviation Safety Agency <i>Agence Européenne de la Sécurité Aérienne</i>
EMAS	Engineered Materiel Arresting System <i>Système d'Arrêt du Matériel d'Ingénierie</i>
GNSS	Global Navigation Satellite System <i>Systèmes Mondiaux de Navigation par Satellite</i>
GPS	Global Positioning System <i>Système Mondiale de Positionnement</i>
IFR	Instrument Flight Rules <i>Règles de Vol aux Instruments</i>
ILS	Instrument Landing System <i>Système d'Atterrissage aux Instruments</i>
IRS	Inertial Reference system <i>Système de Référence Inertielle</i>
LHR	London Heathrow (code IATA) <i>Londres-Heathrow (code AITA)</i>
LOC	Localizer <i>Localisateur</i>
METAR	Metorological Aerodrome Report <i>Rapport Météorologique d'Aérodrome</i>
NDB	Non-Directional Beacon <i>Balise non-Directionnelle</i>
ICAO OACI	International Civil Aviation Organisation <i>Organisation de l'Aviation Civile Internationale</i>

PBN	Performance Based Navigation <i>Navigation Basée sur les Performances</i>
PRS	Preferential Runway System <i>Système de Pistes Préférentielles</i>
QC	Quota Count <i>Comptage des quotas</i>
RNAV	Area Navigation <i>Navigation par Zone</i>
RNP	Required Navigation Performance <i>Performances de Navigation Requises</i>
SBAS	Satellite-Based Augmentation System <i>System de Renforcement par Satellite</i>
SOP	Standard Operating Procedure <i>Procédure Opérationnelle Standard</i>
TSE	Total System Error <i>Erreur Totale du Système</i>
VFR	Visual Flight Rules <i>Règles de Vol à Vue</i>
VOR	Very High Frequency Omnidirectional Range <i>Portée Omnidirectionnelle à très Haute Fréquence</i>

Remerciements

L'auteur principal (Ted Eliff) est reconnaissant envers le professionnalisme et l'expertise de ses collègues qui ont contribué à la réalisation de ce rapport ambitieux :

Alan Melrose

Hans Dorries

Benoit Malbezin

Thomas Schneider

Antoine Berthier

Pour toute question relative à cette publication, veuillez nous contacter à cette adresse électronique :

ted.elliff@env-isa.com

Annexe A Propositions des parties judiciaires en détail

<https://s3.ap-south-1.amazonaws.com/sustainable.airports.bru/Addendum+2022/Annexe/Annexe+A++Propositions+des+parties+prenantes.pdf>

Annexe B Chiffres des scénarios sur la population exposée - Détails

<https://s3.ap-south-1.amazonaws.com/sustainable.airports.bru/Addendum+2022/Annexe/Annexe+B+Mesures+impact+de%CC%81tails.pdf>

