

Rapport de l'étude d'optimisation bruit à l'aéroport d'Orly

DEPARTS PISTES 08 ET 24

NAVBLUE
Bâtiment Galilée
1-3 rue Marcel Doret
31 700 BLAGNAC

NAV.B.TEC.18.0088

NAVBLUE

AN AIRBUS COMPANY

1	RAPPORT DE L'ETUDE D'OPTIMISATION BRUIT AEROPORT D'ORLY	NAVBLUE.TEC.18.0088
	DEPARTS PISTES 08 ET 24	4 TH FEB 2019

Ce document a été préparé et révisé par:

Préparé par:	<p>Jean-Philippe CHAPELLE [4th February 2019]</p>  <p><i>Airbus - Ingénieur Performance Avion</i></p>
Préparé par:	<p>Steven Le-Moing [4th February 2019]</p>  <p><i>Airbus – Ingénieur Bruit Opérationnel</i></p>
Vérifié par:	<p>Irene MORENO GONZALEZ [4th February 2019]</p>  <p><i>NAVBLUE - Project Manager</i></p>

Issue	Date	Review description
1.0 DRAFT	12 th October 2018	Version draft
1.0	18 th October 2018	Première version
2.0	4 th February 2019	Étude complémentaire et nouvelle organisation du document



AN AIRBUS COMPANY

2	RAPPORT DE L'ETUDE D'OPTIMISATION BRUIT AEROPORT D'ORLY	NAVBLUE.TEC.18.0088
	DEPARTS PISTES 08 ET 24	4 TH FEB 2019

1. Contexte et Définition de l'étude

- 1.1. Contexte
- 1.2. Définition de l'étude
 - 1.2.A. Généralités
 - 1.2.B. Présentation du principe d'optimisation

2. Hypothèses de l'étude

- 2.1. Hypothèses générales de l'étude
 - 2.1.A. Pistes et SID
 - 2.1.B. Performance avion
 - 2.1.C. Contraintes ATM
 - 2.1.D. Localisation des zones de réduction de bruit
 - 2.1.E. Météorologie

3. Étude PRISALT : accélération à 5000Ft

- 3.1. Étude PRISALT : 5000/5000ft
 - 3.1.A. Hypothèse de l'étude
 - 3.1.B. Résultats de l'étude
- 3.2. Étude PRISALT : 1500/5000ft
 - 3.2.A. Hypothèse de l'étude
 - 3.2.B. Résultats de l'étude

4. Études complémentaires d'optimisation

- 4.1. Traduction des hypothèses de l'étude sur les contraintes d'optimisation
 - 4.1.A. Définition des domaines d'exploration des altitudes de réduction et d'accélération.

3	RAPPORT DE L'ETUDE D'OPTIMISATION BRUIT AEROPORT D'ORLY	NAV.B.TEC.18.0088
	DEPARTS PISTES 08 ET 24	4 TH FEB 2019

- 4.1.B. Altitude de réduction de poussée.
- 4.1.C. Traduction de la contrainte ATM sur le domaine d'exploration de l'altitude d'accélération.
- 4.1.D. Respect de la trace au sol de la procédure

4.2. Résultats : Départs piste 08

- 4.2.A. A320
- 4.2.B. A330
- 4.2.C. A350
- 4.2.D. Synthèse

4.3. Résultats : Départs piste 24

- 4.3.A. A320
- 4.3.B. A330
- 4.3.C. A350
- 4.3.D. Synthèse

5. CONCLUSION

6. ANNEXES

6.1. Annexes pour trajectoire 5000 / 5000

- 6.1.A. Annexe 1 : Trajectoire A320
- 6.1.B. Annexe 2 : Trajectoire A330
- 6.1.C. Annexe 3 : Trajectoire A350

6.2. Annexes pour trajectoire 1500 / 5000 à TOGA

- 6.2.A. Annexe 4 : Trajectoire A320
- 6.2.B. Annexe 5 : Trajectoire A330
- 6.2.C. Annexe 6 : Trajectoire A350

6.3. Annexes pour étude d'optimisation complémentaire piste 08

- 6.3.A. Annexe 7 : Trajectoires A320
- 6.3.B. Annexe 7.1 : Profils de bruit A320 – Piste 08
- 6.3.C. Annexe 8 : Trajectoires A330
- 6.3.D. Annexe 8.1 Profils de bruit A330 – Piste 08
- 6.3.E. Annexe 9 : Tableau des solutions pour Micro 1 A350 – Piste 08
- 6.3.F. Annexe 10 : Tableau des solutions pour Micro 2 A350 – Piste 08
- 6.3.G. Annexe 11 : Trajectoires A350
- 6.3.H. : Profils bruit A350 – Piste 08

4	RAPPORT DE L'ETUDE D'OPTIMISATION BRUIT AEROPORT D'ORLY	NAV.B.TEC.18.0088
	DEPARTS PISTES 08 ET 24	4 TH FEB 2019

6.4. Annexes pour étude d'optimisation complémentaire piste 24

6.4.A. Annexe 12 : Trajectoires A320

6.4.B. Annexe 12.1 Profils de bruit A320 – Piste 24

6.4.C. Annexe 13 : Trajectoires A330

6.4.D. Annexe 13.1 : Profils de bruit A330 - Piste 24

6.4.E. Annexe 14 : Tableau des solutions pour Micro 1 A350 – Piste 24

6.4.F. Annexe 15 : Tableau des solutions pour Micro 2 A350 – Piste 24

6.4.G. Annexe 16 : Trajectoires A350

6.4.H. Annexe 16.1 : Profils de bruit A350 – Piste 24

1. Contexte et Définition de l'étude

CHAPTER 01

NAVBLUE

AN AIRBUS COMPANY

6	RAPPORT DE L'ETUDE D'OPTIMISATION BRUIT AEROPORT D'ORLY	NAVBLUE.TEC.18.0088
	DEPARTS PISTES 08 ET 24	4 TH FEB 2019

1.1. Contexte

Le transport aérien participe activement aussi bien au niveau mondial qu'au niveau local à l'activité économique. Il n'en demeure pas moins qu'il doit également s'inscrire dans une démarche de croissance durable en étant capable d'adresser les sujets d'intérêt des différents acteurs du secteur.

Dans ce cadre, la DGAC DSNA a sollicité NAVBLUE et AIRBUS afin de fournir des éléments de réflexion autour l'amélioration de deux indicateurs communément observés sur une plateforme aéroportuaire : l'impact bruit au sol et la consommation carburant des avions en vol.

C'est pourquoi il a été demandé à NAVBLUE et AIRBUS, sur une flotte représentative des avions, d'optimiser les phases de départs sur l'aéroport d'Orly afin de trouver le meilleur compromis entre les indicateurs bruit produit au sol et consommation de carburant.



AN AIRBUS COMPANY

7	RAPPORT DE L'ETUDE D'OPTIMISATION BRUIT AEROPORT D'ORLY	NAV.B.TEC.18.0088
	DEPARTS PISTES 08 ET 24	4 TH FEB 2019

1.2. Définition de l'étude

1.2.A. Généralités

L'étude présentée ci-dessous s'attachera à décrire les résultats obtenus pour une optimisation multicritère (bruit et consommation carburant) de départs sur la plateforme de l'aéroport d'Orly. L'optimisation des départs ne concernera que les profils verticaux, le tracé latéral étant fixé et considéré comme une entrée de l'étude.

Il est à noter que ce rapport présente des résultats obtenus par modélisation, aussi bien pour ce qui concerne les performances avions que l'évaluation des objectifs bruit et consommation carburant (aussi nommé Fuel dans la suite du document).

1.2.A.1 Les départs

Deux pistes seront concernées par l'étude, il s'agit de la piste 08 et de la piste 24. Pour chaque piste une seule « Standard Instrument Departure » (SID) sera considérée.

- Pour la piste 08 sera associée la SID **LGL 7E**.
- Pour la piste 24 sera associée la SID **LGL 6P**.

1.2.A.2 Les avions

L'étude s'est attachée à couvrir une liste d'avions (AIRBUS uniquement) jugée pertinente par rapport à sa représentativité sur l'aéroport d'Orly et le contexte de l'étude. Ont donc été étudiés les avions suivants :

- A320-200 moteur CFM
- A330-300 moteur Pratt & Whitney
- A350-900 moteur Rolls-Royce

Une revue plus exhaustive des hypothèses prises compte au cours de l'étude est effectuée au chapitre suivant.

8	RAPPORT DE L'ETUDE D'OPTIMISATION BRUIT AEROPORT D'ORLY	NAV.B.TEC.18.0088
	DEPARTS PISTES 08 ET 24	4 TH FEB 2019

1.2.B. Présentation du principe d'optimisation

Les évaluations des niveaux techniques en bruit et consommation carburant ont été réalisées en utilisant les outils internes AIRBUS, permettant d'utiliser pour les avions concernés dans l'étude les meilleures connaissances actualisées en termes de performance avions et bruit.

1.2.B.1 *Le bruit*

Le bruit évalué dans cette étude est obtenu par un calcul sur des points spécifiquement définis dans le cadre de l'étude (positions « micro »). Cela sous-entend donc que des zones spécifiques ont été identifiées où il sera recherché une réduction du bruit.

La totale complexité de l'environnement ne pouvant être intégrée dans la modélisation du bruit, il ne sera pas présenté de niveaux absolus mais des écarts de niveaux de bruit entre plusieurs profils verticaux.

En termes de modélisation l'outil interne AIRBUS permet d'intégrer un maximum de paramètres qui permettent de prendre en compte au mieux les sources de bruits qu'elles proviennent aussi bien de la cellule ou du moteur.

1.2.B.2 *La Consommation Carburant*

La consommation de l'avion sur cette phase de départ sera évaluée en s'attachant à, pour les profils verticaux étudiés, définir un point commun de mission (état commun de l'avion à une altitude donnée) afin de pouvoir fournir des comparaisons de niveau de consommation carburant.

1.2.B.3 *L'aspect multicritère*

Le but de l'étude est d'identifier les solutions pouvant fournir le meilleur compromis entre l'impact bruit au sol sur une zone considérée et la consommation carburant sur un profil vertical (en rappelant que dans notre cas le tracé latéral est fixé).

Pour ce faire AIRBUS dispose d'une capacité d'optimisation d'une fonction objectif, dans notre cas bi-objectif (Bruit – Consommation Carburant), qui permet de générer un ensemble de solutions optimales, sous forme communément appelée front de Pareto.

Ce type d'optimisation permet d'intégrer les contraintes opérationnelles usuelles (conditions de vol du jour, masse avion, ...), les contraintes ATM (altitudes, vitesses max).

L'apport de ce type d'optimisation est la possibilité de parcourir le front de solution optimales en couvrant ainsi les différents compromis Bruit et Consommation.

Comme annoncé ci-dessus, les objectifs bruit et consommation carburant sont affichés par comparaison et non pas en valeur absolue ; cela permet, pour chaque cas d'étude, d'utiliser la trajectoire volée au quotidien comme procédure de référence.

La figure ci-dessous illustre le principe de l'optimisation et de l'utilisation du front de Pareto.

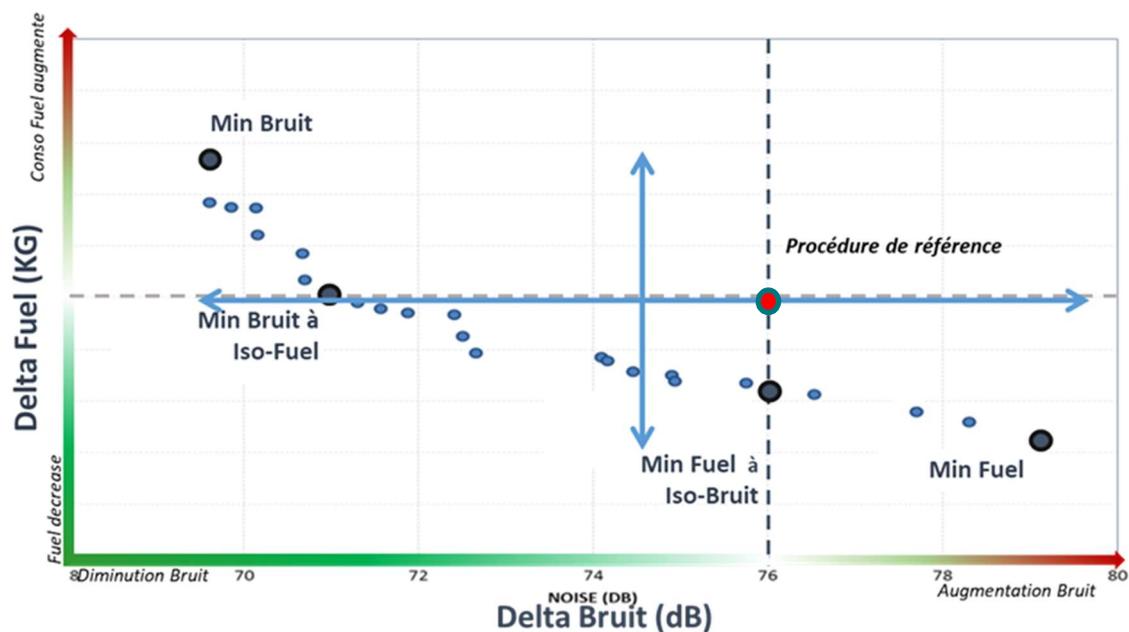


Figure 1 Principe du Front de Pareto

La procédure de référence (point rouge), choisie comme origine des échelles Bruit et Consommation Carburant (Fuel), est la procédure volée au quotidien, hors velléité d'optimisation. Les écarts en Bruit ou Fuel sont exprimés par rapport à la performance de cette dernière procédure sur ces deux objectifs.

Le front de Pareto produit suite à l'optimisation peut ensuite se parcourir d'un extrême à l'autre des deux axes bruit (horizontal) et Fuel (Vertical). Chaque point figurant sur le graphique étant une solution optimale d'un compromis des deux objectifs.

On peut ainsi identifier sur la figure 1 une solution fournissant un minimum bruit mais dégradant la consommation. D'autres compromis peuvent être trouvés tels

qu'un minimum bruit à iso consommation, un minimum Fuel à iso bruit. A l'extrémité droite du front apparait la solution minimum Fuel qui met en lumière l'aspect généralement antagoniste des deux objectifs choisis pour l'étude.

Les fronts de Pareto produits peuvent présenter une forme et un nombre de points différents en fonction des conditions de l'étude et des hypothèses plus ou moins contraignantes pour l'optimisation.

1.2.B.4 Les paramètres issus de l'optimisation

Chaque point du front de Pareto (tel qu'illustré sur la figure 1) représente un profil vertical. Le domaine d'exploration de ce profil vertical se réalise en répondant aux définitions des profils de procédures de départ à moindre bruit telles que décrites dans les documents PANS-OPS¹.

Les paramètres permettant de décrire ce profil vertical sont de manière générique une Altitude de Réduction de la Poussée et une Altitude d'Accélération, ce sont donc ces paramètres qui constituent les sorties du processus d'optimisation.

Ceci est valable pour tous les avions Airbus, à l'exception de l'A350 et de l'A380 dont les systèmes avioniques permettent de manipuler des paramètres supplémentaires, à savoir une « Vitesse Bruit » (valeur de vitesse intermédiaire entre V35ft et 250kt), un « N1 Bruit » (valeur du paramètre de conduite moteur) et une Altitude de fin de procédure acoustique (à laquelle l'avion reprend la poussée de montée et accélère vers les 250kt).

Le tableau ci-dessous résume les paramètres disponibles pour chaque avion de l'étude.

	Altitude de Réduction	Altitude D'Accélération	Vitesse Bruit	N1 Bruit	Altitude de fin de procédure acoustique
A320	OUI	OUI	Non Applicable	Non Applicable	Non Applicable
A330	OUI	OUI	Non Applicable	Non Applicable	Non Applicable
A350	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI

¹ ICAO Doc 8168 Part I

11	RAPPORT DE L'ETUDE D'OPTIMISATION BRUIT AEROPORT D'ORLY	NAV.B.TEC.18.0088
	DEPARTS PISTES 08 ET 24	4 TH FEB 2019

L'image suivante illustre avec la page FMS Perf. TO du FMS A350 la façon dont sont intégrés les paramètres du profile vertical par l'équipage.

ACTIVE/PERF

CRZ **FL 350** OPT **FL 370** REC MAX **FL 393**

T.O CLB CRZ DES APPR GA

RWY **14L**

V1 **135 KT** F **169 KT** ● **TOGA**

VR **140 KT** S **220 KT** ⌋ **FLEX**

V2 **145 KT** ○ **246 KT** ⌋ **DERATED**

FLAPS **2** ▼ THS FOR **39.0%** T.O SHIFT **----M**

THR RED **3000 FT**

ACCEL **800 FT** EO ACCEL **1990 FT**

NOISE END **5000 FT** SPD **235 KT**

CANCEL NOISE * N1 **82%**

TRANS **5000 FT** **CPNY T.O REQUEST**

RETURN **POS MONITOR**

CLEAR INFO

2. Hypothèses de l'étude

CHAPTER 02

NAVBLUE

AN AIRBUS COMPANY

2.1. Hypothèses générales de l'étude

2.1.A. Pistes et SID

Les pistes à considérer pour l'étude sont la piste 08 associée avec la SID LGL 7E et la piste 24 associée à la SID LGL 6P. L'image ci-dessous (figure 2) présente dans le contexte de l'aéroport d'Orly la mise en situation des traces au sol des deux différentes SID.

Sur ces départs, et par type avions ont été associés en accord avec la DSNA et les opérateurs concernés les hypothèses opérationnelles suivantes (comme défini dans le document de Spécification du projet, ref NAVB.TEC.18.0047) :

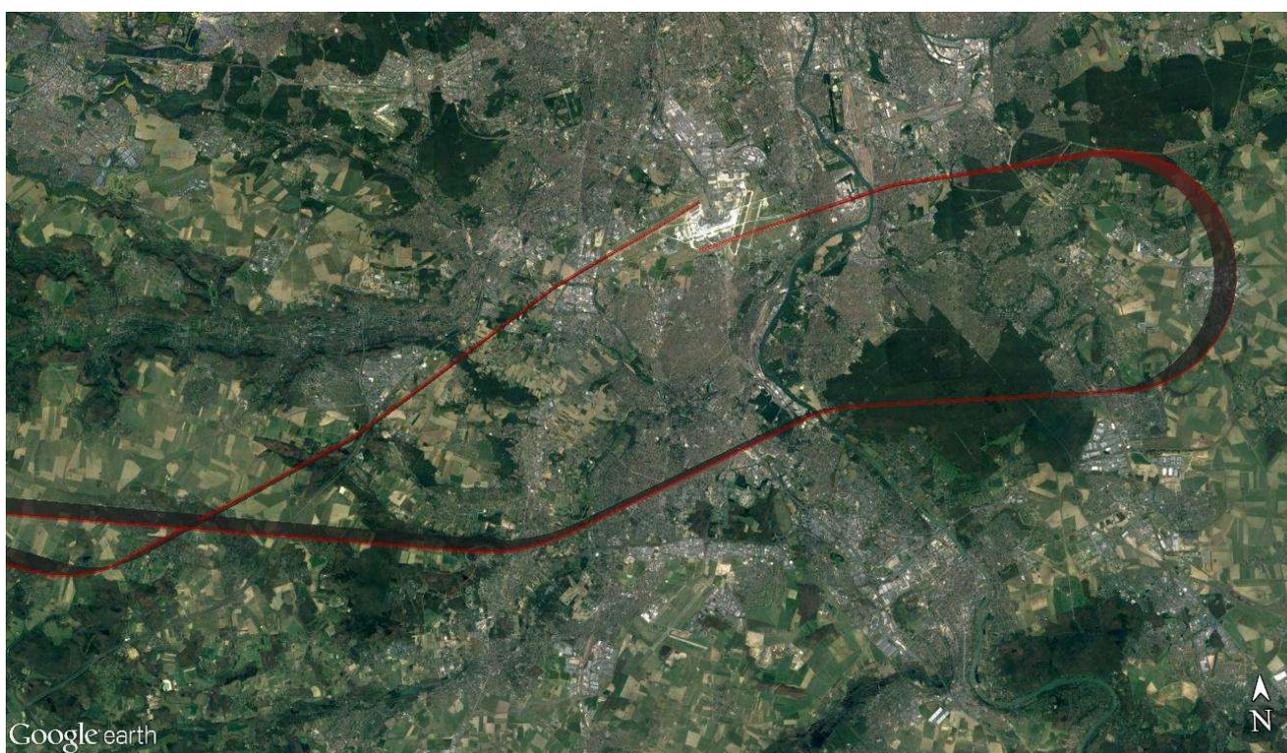


Figure 2 SID au départ pistes 08 et 24

2.1.B. Performance avion

Type Avion	Configuration de Décollage	Poussée de Décollage	Masse au Décollage
A330-300	Conf 2	FLEX max (*)	230 Tonnes
A320-200	Conf 1+F	FLEX max (*)	61,7 Tonnes
A350-900	Conf 2	FLEX max (*)	245 Tonnes

(*) TOGA dans le cas de l'étude PRISALT 1500/5000 (chapitre 3.2)

Ces hypothèses sont l'illustration de conditions opérationnelles jugées à un moment donné comme représentatives. L'exhaustivité des résultats d'optimisation ne saurait être couverte sans compléter ces valeurs.

2.1.C. Contraintes ATM

Les contraintes ATM prises en comptes lors de l'étude visent à maintenir la capacité aéroport globale telle qu'elle existe aujourd'hui. Elles se sont traduites par des consignes de vitesses à respecter :

- 200kts Minimum à PO082 ou à PO243
- Accélération à 250kts à partir de PO082 ou PO243, jusqu'à FL100, ensuite accélération au-delà de 250kts à partir de FL100.

Comme indiqué dans l'AIP, l'avion doit suivre une pente de 5.5% jusqu'à FL150.

Note : cette contrainte de vitesse ne sera prise en compte dans le cas de l'étude PRISALT (chapitre 3), car incompatible avec le palier d'accélération à 5000ft.

2.1.D. Localisation des zones de réduction de bruit

A des fins d'optimisation bruit, il est nécessaire d'identifier des zones géographiques où il sera recherché de réduire l'impact bruit. Pour rappel une optimisation globale tout le long de la trajectoire est impossible.

Nous avons donc pris en entrée des calculs bruits les positions suivantes proposées par la DGAC :

Départ Piste 08

Micros	Position
Micro 08-1 (Limeil-Brévannes)	48° 44' 22.59" N 002° 29' 23.61" E
Micro 08-2 (PO082)	48° 44' 34.3" N 002° 32' 56.0" E
Micro 08-3 (Brie-Comte-Robert) (*see note)	48° 41' 21,68" N 002° 36' 11,03" E

(*) Note : cette position micro est uniquement applicable à l'étude A330.

Départ Piste 24

Micros	Position
Micro 24-1 (Champlan)	48° 42' 23.71" N 002° 16' 39.39" E
Micro 24-2 (PO244)	48° 40' 20.5" N 002° 12' 19.5" E

La figure ci-dessous illustre les positions des zones ciblées pour la réduction du bruit.

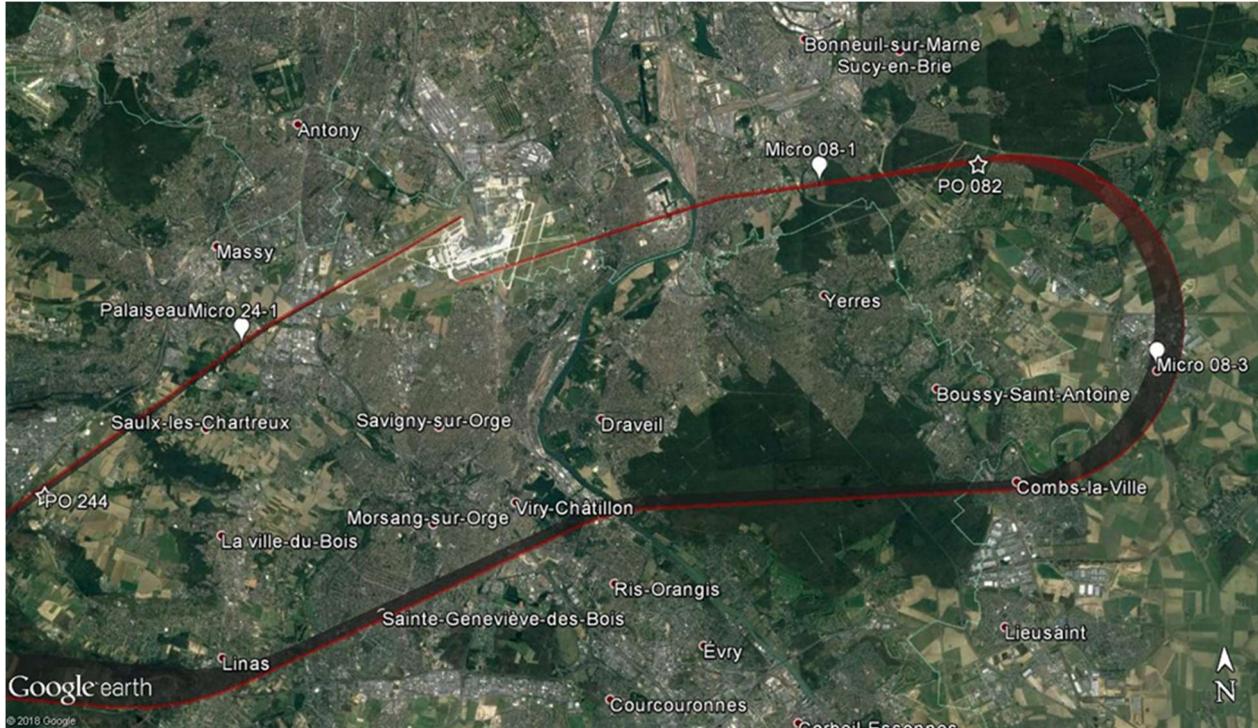


Figure 3 Position des points de réduction de bruit

16	RAPPORT DE L'ETUDE D'OPTIMISATION BRUIT AEROPORT D'ORLY	NAV.B.TEC.18.0088
	DEPARTS PISTES 08 ET 24	4 TH FEB 2019

2.1.E. Météorologie

Les aspects météorologiques ont également été intégrés aux hypothèses de l'étude, en effet, au même titre que les données opérationnelles, les conditions de vent, température, humidité vont influencer les résultats d'optimisation. Un jeu représentatif de ces paramètres a donc été sélectionné dans le cadre de cette étude. Ils sont présentés ci-dessous par piste.

Piste 08 :

Informations Météorologiques		
Température (OAT)	Vent	Humidité
17°C	6 kt / 040°	73.5%
17°C	6 kt / 040°	73.5%
17°C	6 kt / 040°	73.5%

Piste 24 :

Informations Météorologiques		
Température	Vent	Humidité
17°C	10 kt / 240°	73.5%
17°C	10 kt / 240°	73.5%
17°C	10 kt / 240°	73.5%

3. Étude PRISALT : accélération à 5000Ft

CHAPTER 04

NAVBLUE

AN AIRBUS COMPANY

3.1. Étude PRISALT : 5000/5000ft

3.1.A. Hypothèse de l'étude

Hors processus d'optimisation, la trajectoire avec altitude de réduction à 5000ft et altitude d'accélération à 5000ft a été évaluée sur la piste 08 et pour chaque avion. Les hypothèses de décollage utilisées pour ce cas sont celles définies au §2 et qui seront utilisées par la suite avec les cas d'optimisation (§4). Les résultats pour chaque avion sont présentés par comparaison au cas de référence, calculé avec $ZP_{red} = 1500Ft$ et $ZP_{accel} = 3000Ft$.

3.1.B. Résultats de l'étude

Les résultats obtenus, le delta bruit sur chacun des micros ainsi que le delta fuel, sont présentés dans le tableau suivant :

Type avion	Delta Bruit Micro1	Delta Bruit Micro2	Delta Bruit Micro3	Delta Fuel
A320	-2 dB	-2.7 dB		+28 KG
A330	+5 dB	-1 dB	-1.8 dB	+78 KG
A350	+0.2 dB	-2.7 dB		+76 KG

Pour chacun des avions, la trajectoire 5000 / 5000 a été représentée en annexes 1,2 et 3. Cette solution apporte du gain bruit sur le 2^{ème} micro pour chaque type avion (& 3^{ème} micro sur A330). Par contre, seul l'A320, qui a la meilleure capacité de montée parmi les 3 avions, peut permettre d'avoir du gain bruit sur le 1^{er} micro. Cette solution entraîne sur chacun des avions une surconsommation fuel.

En comparant ces résultats avec les différents fronts de Pareto obtenus (cf §4), la solution 5000 / 5000 n'est optimale que sur A320 pour le micro 2. Dans le reste des cas, cette solution ne fait pas partie des points optimaux alors qu'elle est moins contrainte (ne respecte pas la contrainte en vitesse de 200kt à PO 082).

La solution 5000 / 5000 permet donc bien de réduire le bruit. Par contre, malgré le fait qu'elle ne respecte pas la contrainte de vitesse à PO 082, elle n'est pas une

19	RAPPORT DE L'ETUDE D'OPTIMISATION BRUIT AEROPORT D'ORLY	NAV.B.TEC.18.0088
	DEPARTS PISTES 08 ET 24	4 TH FEB 2019

solution optimale pour la plupart des cas (elle entraine systématiquement une surconsommation de consommation carburant (à comparer avec les résultats obtenus au §4)).

Empreintes sonores :

Les figures suivantes présentent une illustration, à l'aide d'empreinte sonores, des performances bruit au sol du profil vertical 5000ft/5000ft.

3.1.B.1 A320

Les deux figures (4 et 5) illustrent le fait que la solution 5000/5000 est une extension de ce qui a été proposé comme solution dans l'étude d'optimisation. Le comportement des empreintes sonores est donc similaire avec une diminution visible de la largeur de l'iso contour à 65dB (figure 4, contour vert) et une réduction de l'empreinte sonore à 70dB (figure 5, contour vert) comparés aux empreintes de la procédure de référence (contour blanc, figure 4 et 5).

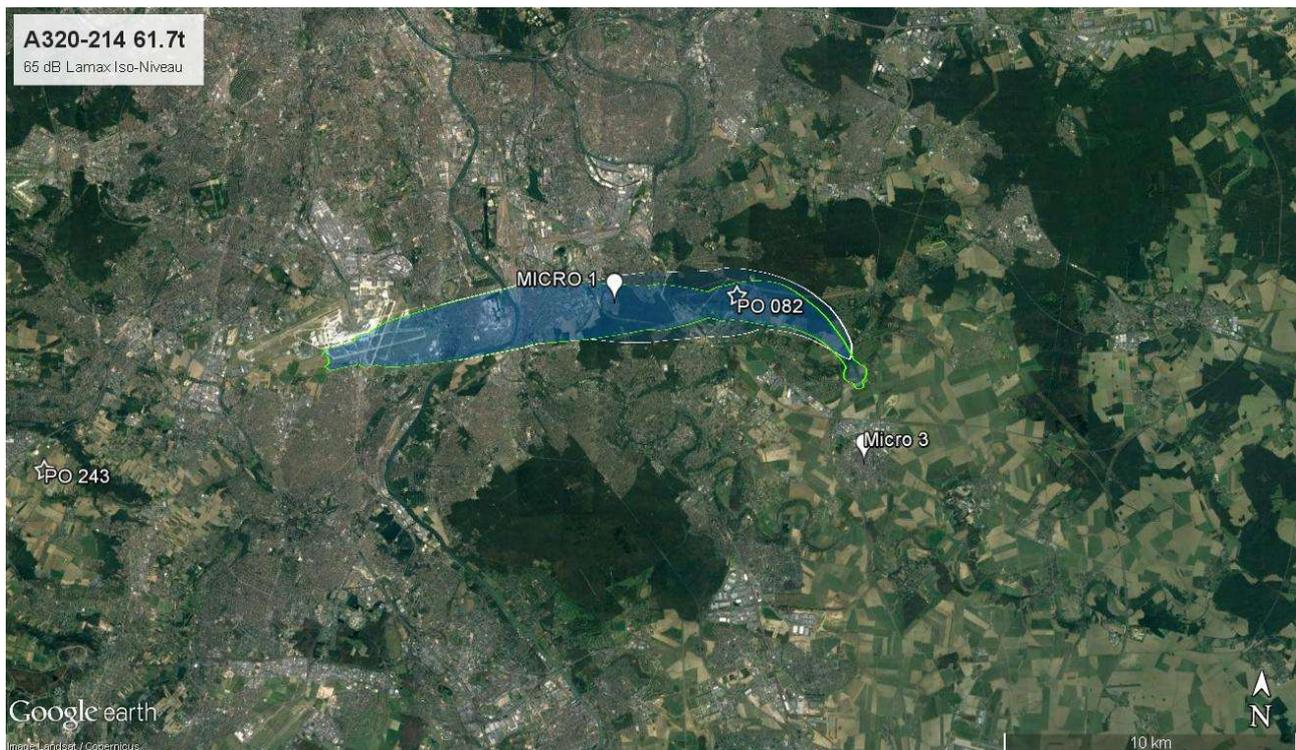


Figure 4 A320 Evaluation procédure 5000/5000 iso contour 65dB

20	RAPPORT DE L'ETUDE D'OPTIMISATION BRUIT AEROPORT D'ORLY	NAV.B.TEC.18.0088
	DEPARTS PISTES 08 ET 24	4 TH FEB 2019

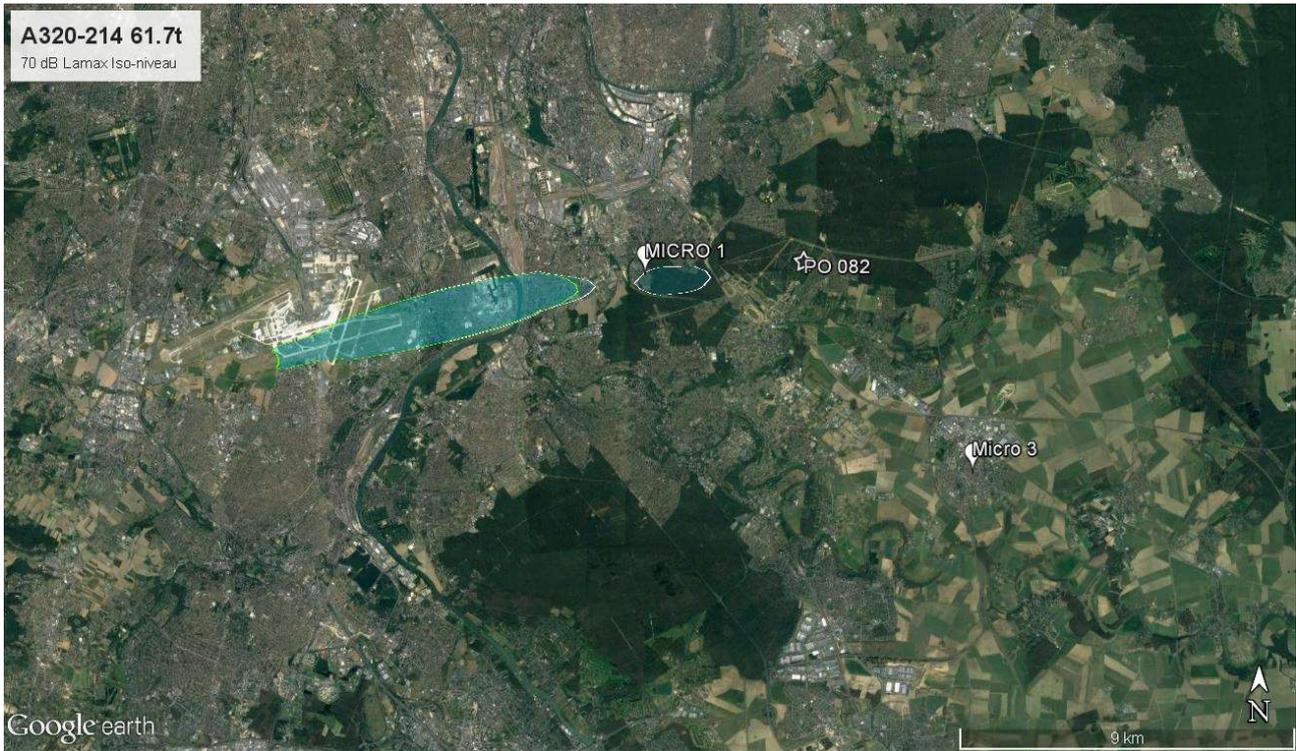


Figure 4 A320 Evaluation procédure 5000/5000 iso contour 70dB

3.1.B.2 A330

La procédure 5000/5000 permet de réduire nettement l'empreinte sonore à 68dB avec une réduction de sa longueur, par contre cette solution n'échappe pas à la contrepartie d'augmentation du niveau de bruit en amont du micro 2, visible avec l'élargissement de l'iso contour (contour vert) comparé à la procédure de référence (contour blanc).

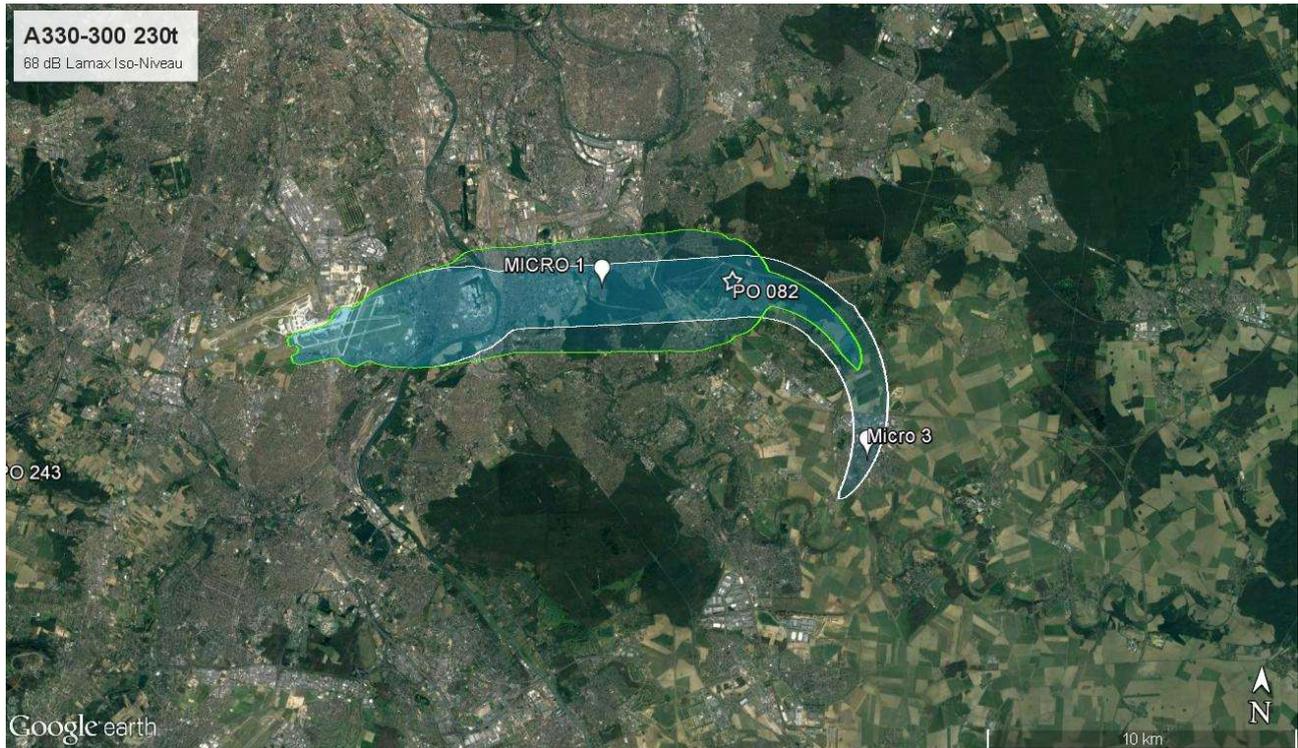


Figure 5 Evaluation procedure 5000/5000 iso contour 68dB

22	RAPPORT DE L'ETUDE D'OPTIMISATION BRUIT AEROPORT D'ORLY	NAVB.TEC.18.0088
	DEPARTS PISTES 08 ET 24	4 TH FEB 2019

3.1.B.3 A350

Une nouvelle fois le compromis entre réduction du niveau bruit sur le micro 2 et augmentation du bruit en amont de ce micro est visible avec une réduction de la longueur de l'empreinte (contour vert) qui s'accompagne de son élargissement (contour vert) toujours en comparaison de la procédure de référence (contour blanc).

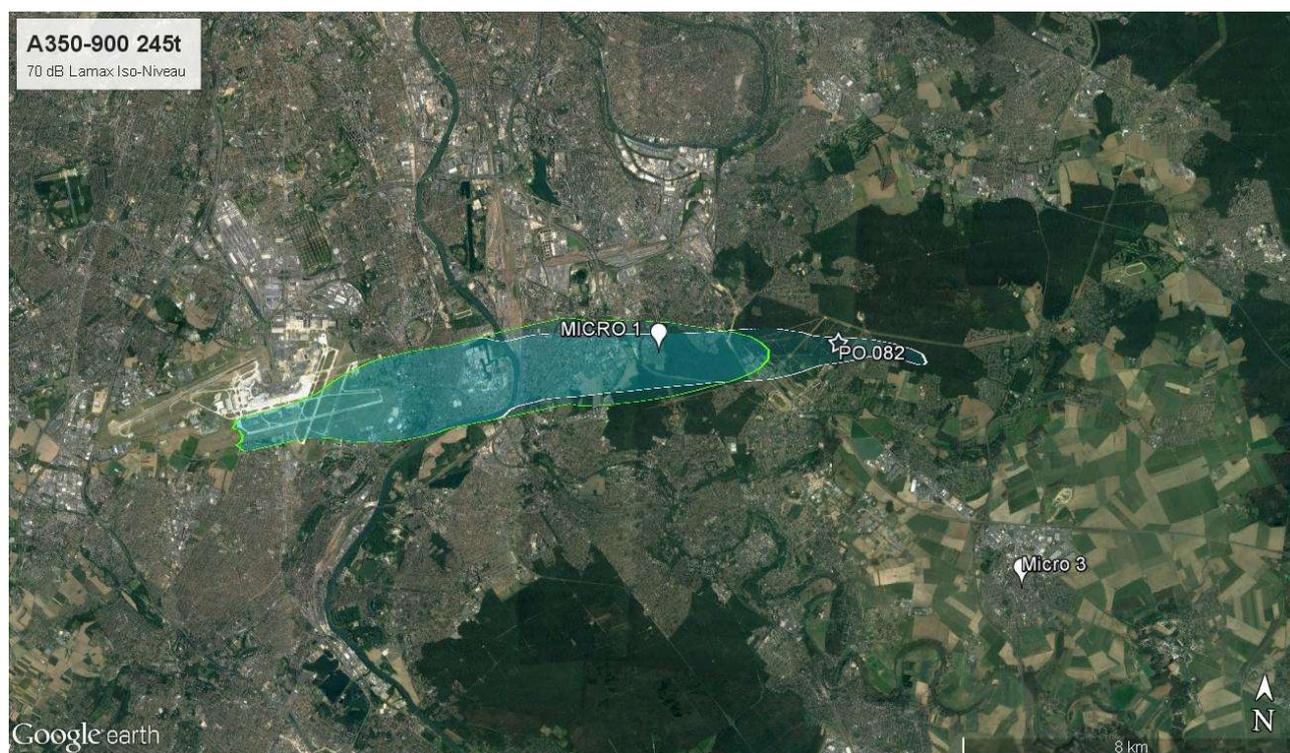


Figure 6 Evaluation procedure 5000/5000 Iso contour 70dB

3.2. Étude PRISALT : 1500/5000ft

3.2.A. Hypothèse de l'étude

Hors processus d'optimisation, la trajectoire avec altitude de réduction à 1500ft et altitude d'accélération à 5000ft a été évaluée sur la piste 08 et pour chaque avion. Les hypothèses de décollage comportent une différence importante par rapport aux autres cas : le régime de poussée au décollage utilisée est TOGA. Les autres hypothèses de décollage utilisées (configuration aérodynamique et masse) sont celles définies au §2. Les résultats pour chaque avion sont présentés par comparaison au cas de référence, calculé avec $ZP_{red} = 1500Ft$ et $ZP_{accel} = 3000Ft$ et pour les mêmes conditions de décollage (TOGA également utilisé).

A noter que les résultats bruit ont été calculés sur les trois micros pour tous les avions, contrairement à l'ensemble des autres cas de l'étude où le bruit sur le micro 3 a été évalué seulement sur A330.

3.2.B. Résultats de l'étude

Les résultats obtenus, le delta bruit sur chacun des micros ainsi que le delta fuel, sont présentés dans le tableau suivant :

Type avion	Delta Bruit Micro1	Delta Bruit Micro2	Delta Bruit Micro3	Delta Fuel
A320	-4.1 dB	-1.1 dB	+0.2 dB	+22 KG
A330	0 dB	-2.4 dB	+0.2 dB	+118 KG
A350	-0.9 dB	-2.9 dB	+0.5 dB	+85 KG

Pour chacun des avions, la trajectoire 1500 / 5000 a été représentée en annexes 4, 5 et 6. On peut considérer que cette solution apporte du gain bruit sur le 1^{er} et 2^{ème} micro pour chaque type avion (seul l'A330 a un delta nul sur le 1^{er} micro). Le bruit est, par contre, légèrement augmenté pour tous les avions sur le 3^{ème} micro. La consommation fuel est également accrue de façon non négligeable sur tous les avions.

L'utilisation de ce tableau pour comparaison avec les autres cas de l'étude, notamment PRISALT 5000/5000 est difficilement faisable car le régime de décollage a été modifié (TOGA au lieu de Flex).

Afin de mettre en évidence l'impact du changement de régime de décollage, une comparaison des scénarios de référence est présentée dans le tableau ci-dessous. Le delta calculé représente : $\Delta = \text{cas_TOGA} - \text{cas Flex}$.

Type avion	Delta Bruit Micro1	Delta Bruit Micro2	Delta Bruit Micro3	Delta Fuel
A320	0.7 dB	-2 dB	/	-16 KG
A330	-0.1 dB	0 dB	-0.4 dB	-20 KG
A350	-0.8 dB	-0.6 dB	/	12 KG

En regardant les trois avions, d'un point de vue bruit, utiliser TOGA entraîne plutôt une réduction du bruit. Cependant les gains sont différents en fonctions des avions. Ceux-ci sont plutôt faibles sur A330 alors que sur A320, le bruit peut être réduit de 2 dB sur le micro 2 mais avec une augmentation de 0.7dB sur le micro 1. En termes de fuel, le gain est de 16kg pour l'A320, les deltas sont moins significatifs sur A330 et A350 où d'un côté on gagne 20kg mais de l'autre on perd 12kg.

Une comparaison des solutions proposées par PRISALT est présentée dans le tableau suivant. Le delta calculé représente : $\Delta = (\text{cas_1500/5000_TOGA}) - (\text{cas_5000/5000_Flex})$.

Type avion	Delta Bruit Micro1	Delta Bruit Micro2	Delta Bruit Micro3	Delta Fuel
A320	-1.5 dB	-0.3 dB	/	-21 KG
A330	-5.1 dB	-1.4 dB	1.63 dB	20 KG
A350	-1.9 dB	-0.8 dB	/	21 KG

25	RAPPORT DE L'ETUDE D'OPTIMISATION BRUIT AEROPORT D'ORLY	NAV.B.TEC.18.0088
	DEPARTS PISTES 08 ET 24	4 TH FEB 2019

La procédure 1500/5000 & TOGA est plus intéressante d'un point de vue bruit sur les premiers micros. En effet, pour tous les avions un gain bruit est constaté, pouvant aller jusqu'à -5.1dB sur A330. Il semble, par contre, que ça augmente le bruit sur les zones plus éloignées (A330 & micro 3 l'écart est de 1.63 dB) (à confirmer car seulement calculé sur A330). En termes de fuel, le delta reste compris entre +/-20 kg en fonction des types avion.

Cependant, les deux procédures n'ayant pas été faites dans les mêmes conditions de poussée au décollage, il n'est pas possible d'affirmer que la procédure 1500/5000 est meilleure que la procédure 5000/5000 d'un point de vue bruit. On peut simplement indiquer que la procédure 1500/5000 avec TOGA est meilleure en termes de bruit que la procédure 5000/5000 avec Flex.

3.2.B.1 A320 Comparaison PRISALT 1500/3000 et Référence

L'image ci-dessous illustre l'écart de surface entre les iso-niveaux à 65dB pour la procédure de référence 1500ft/3000ft et la procédure PRISALT (1500ft/5000ft) pour l'A320.

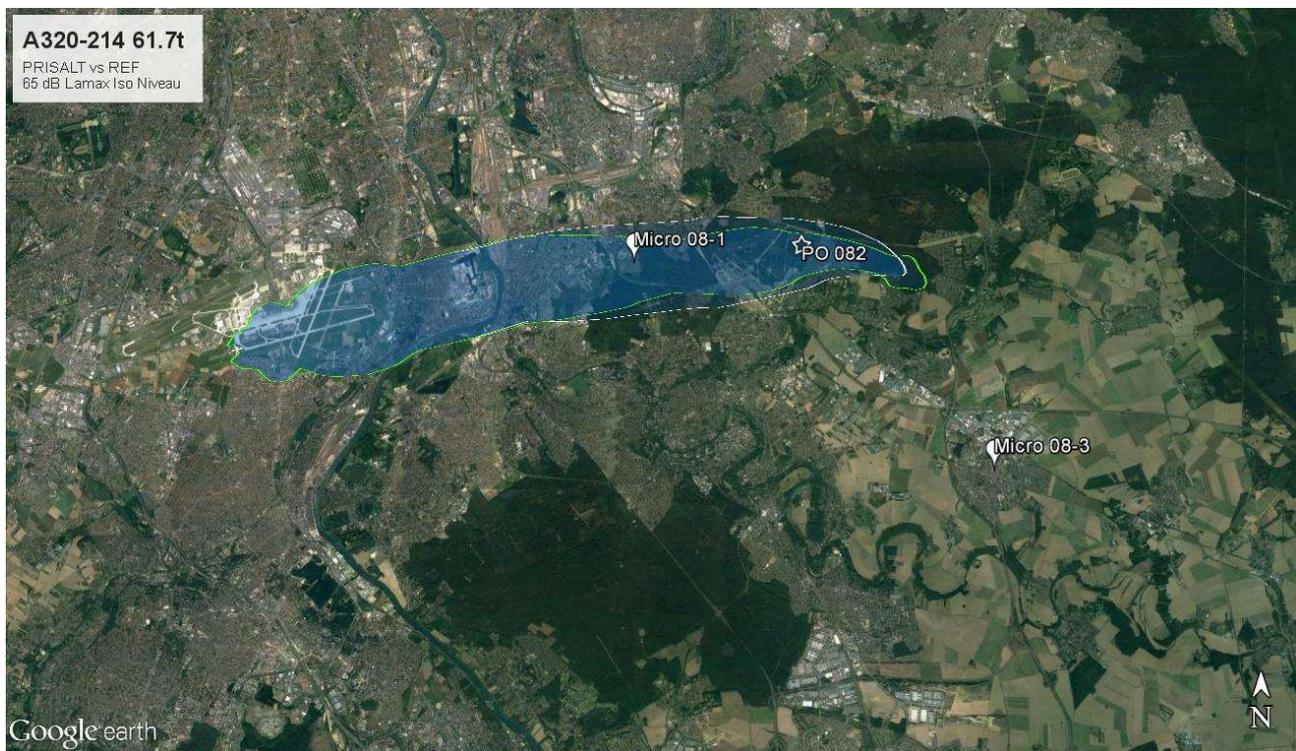


Figure 7 A320 PRISALT vs REF 65dB

26	RAPPORT DE L'ETUDE D'OPTIMISATION BRUIT AEROPORT D'ORLY	NAV.B.TEC.18.0088
	DEPARTS PISTES 08 ET 24	4 TH FEB 2019

Le resserrement de l'iso niveau (en vert) de la procédure PRISALT est visible sur des zones entourant les deux points de calculs de bruits ponctuels, comparé à l'iso-niveau de la procédure de référence (en blanc). Une légère augmentation de la longueur d'empreinte sonore est à noter avec la procédure PRISALT. Il faut remarquer que la procédure PRISALT n'altère pas le niveau de bruit en amont du premier micro.

3.2.B.2 A330 Comparaison PRISALT 1500/3000 et Référence

L'image ci-dessous illustre l'écart de surface entre les iso-niveaux à 65dB pour la procédure de référence 1500ft/3000ft et la procédure PRISALT (1500ft/5000ft) pour l'A330.

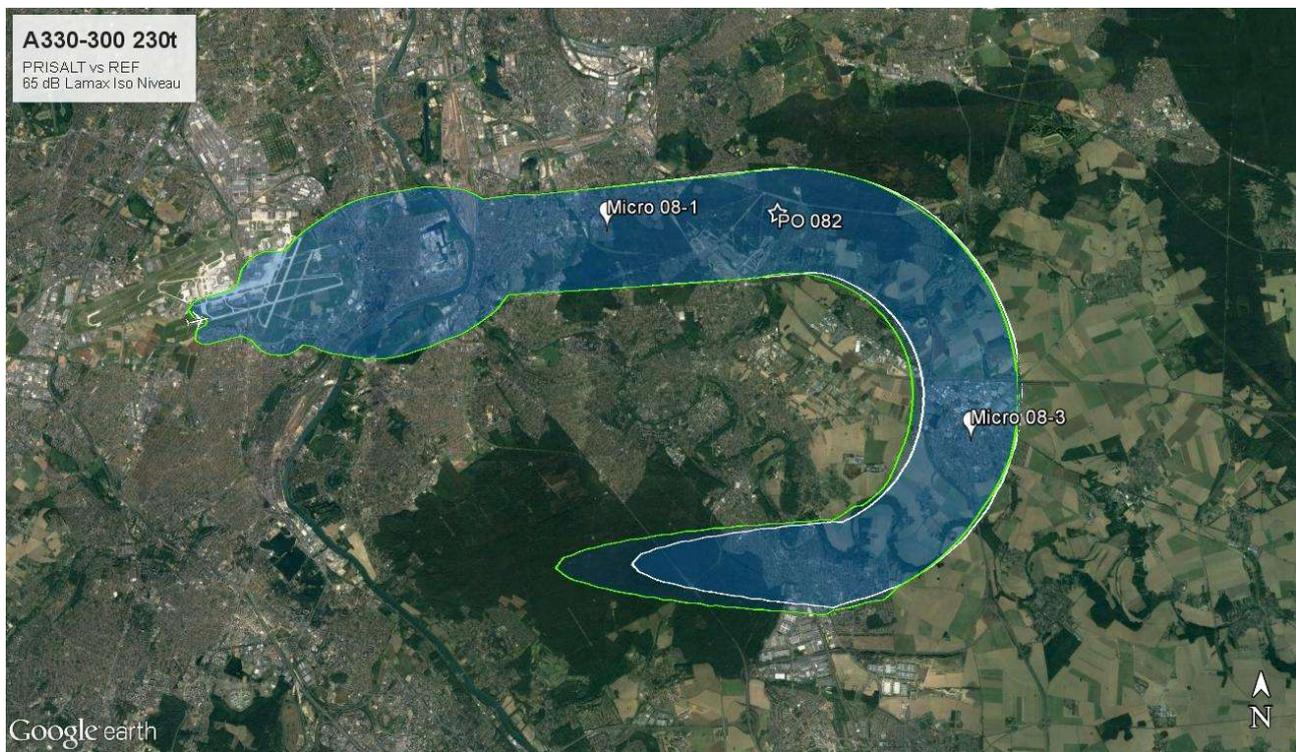


Figure 8 A330 PRISALT vs REF 65dB

Les deux empreintes sonores à 65dB sont très similaires, si ce n'est une augmentation de la longueur de l'iso niveau de la procédure PRISALT (en vert) comparé à la procédure de référence (en blanc).

Il faut observer la comparaison des empreintes sonores à 70dB pour constater la réduction de bruit constatée au micro 2 qui se traduit par une nette réduction

27	RAPPORT DE L'ETUDE D'OPTIMISATION BRUIT AEROPORT D'ORLY	NAV.B.TEC.18.0088
	DEPARTS PISTES 08 ET 24	4 TH FEB 2019

de la longueur de l'iso niveau de la procédure PRISALT (en vert) par rapport à la procédure de référence (en blanc).

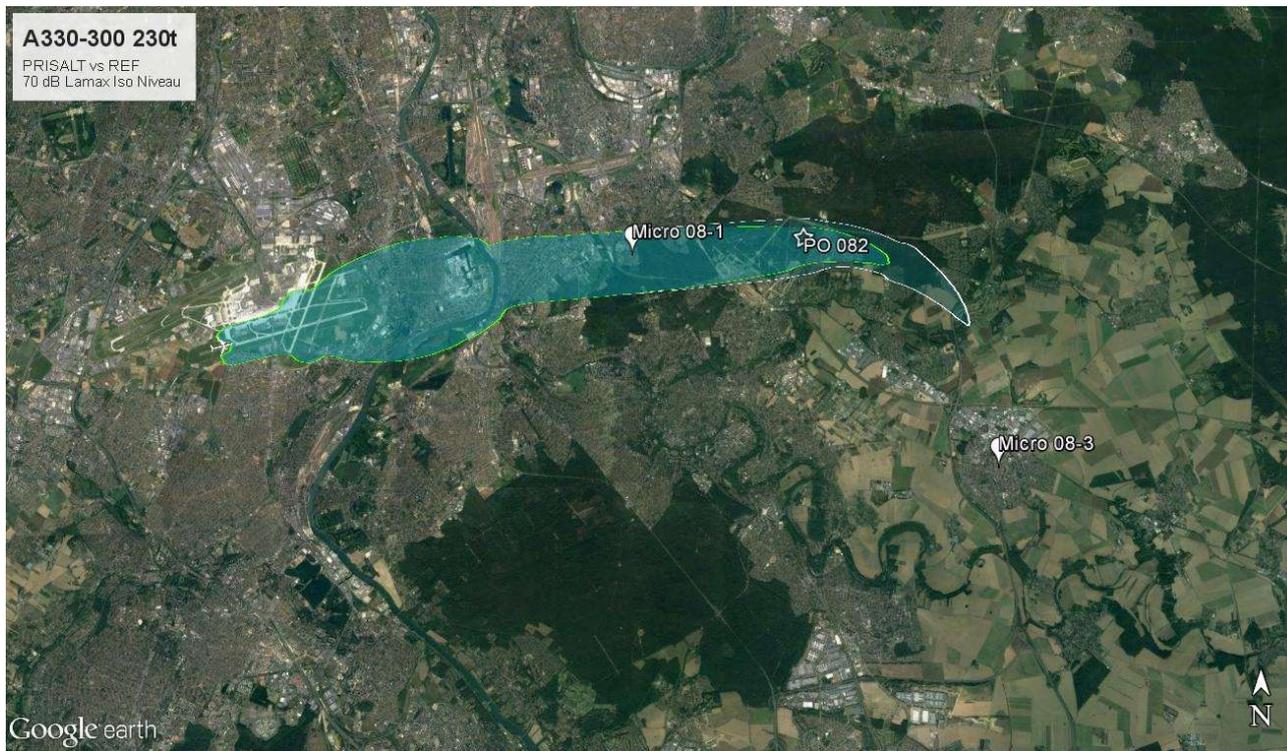


Figure 9 A330 PRISALT vs REF 70dB

Il faut également noter que le niveau de bruit en amont du premier micro n'est pas impacté par la procédure PRISALT.

28	RAPPORT DE L'ETUDE D'OPTIMISATION BRUIT AEROPORT D'ORLY	NAVB.TEC.18.0088
	DEPARTS PISTES 08 ET 24	4 TH FEB 2019

3.2.B.3 A350 Comparaison PRISALT 1500/3000 et Référence

L'image ci-dessous permet d'observer la comparaison des iso-niveaux à 65dB de la procédure PRISALT (en vert) et de la procédure de référence (en blanc).



Figure 10 A350 PRISALT vs REF 65dB

Les empreintes sonores sont très similaires, la réduction attendue au micro est cependant légèrement visible avec un rétrécissement de l'iso-niveau de PRISALT (en vert), comparé à la procédure de référence (en blanc).

Il faut s'attacher aux iso-niveaux à 70dB pour pleinement observer cette réduction de bruit sur le micro 2 qui s'accompagne d'une diminution de la longueur d'empreinte sonore de la procédure PRISALT (en vert) comparé à la procédure de référence (en blanc), comme illustré sur la figure ci-dessous.

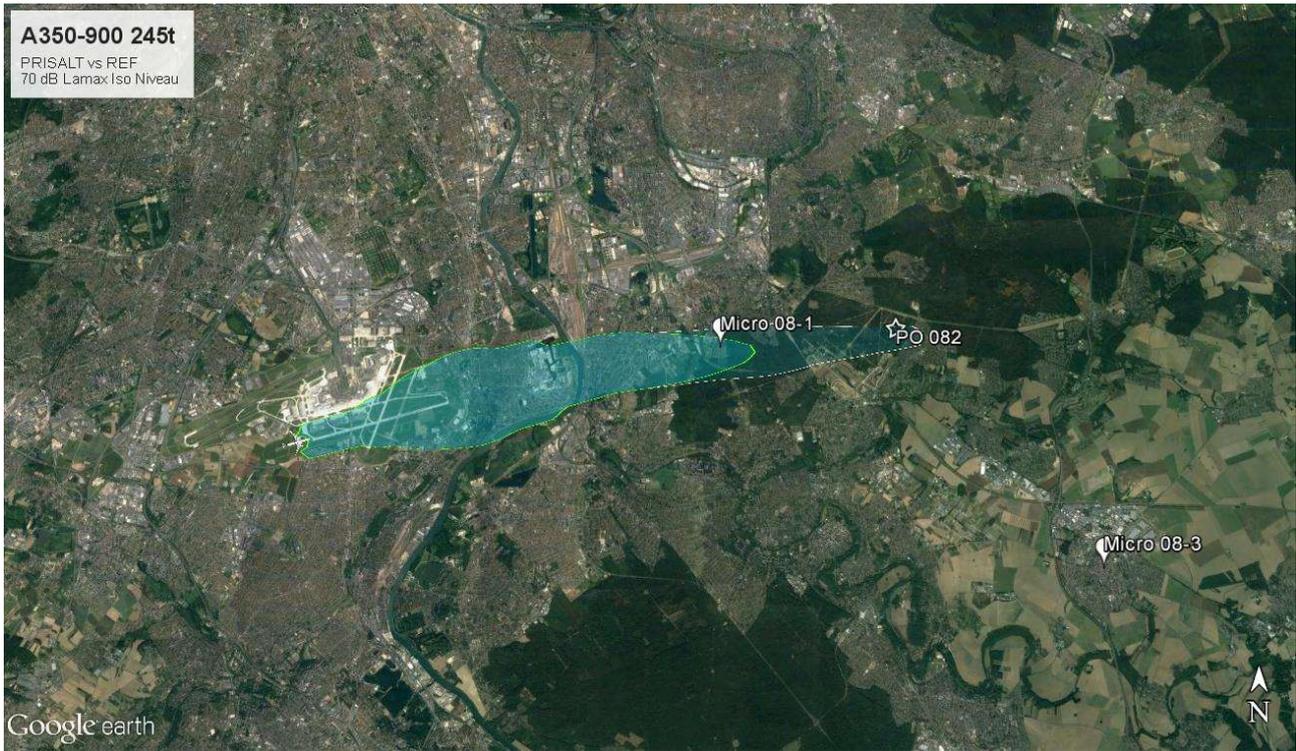


Figure 11 A350 PRISALT vs REF 70dB

3.2.B.4 Notion d'exposition au bruit liée aux écarts de vitesse entre les procédures comparées.

Les résultats présentés plus haut dans ce rapport illustrent des écarts de niveau de bruit instantanés maximum, dénommés LA_{max} . Ces niveaux de bruit traduisent à un instant précis un niveau de bruit perçu au sol, sans tenir compte de l'évolution temporelle du signal sonore. Le niveau d'exposition sonore (SEL) permet quant à lui d'introduire cette notion de durée du signal sonore, il peut se comprendre comme l'intégration temporelle entre les bornes $LA_{max} - 10dB$ du niveau de bruit. Sont présentés ci-dessous, par type avion les écarts en SEL(dB) sur les différents micros étudiés.

3.2.B.4.1 A320

Le tableau ci-dessous présente les écarts en SEL entre la procédure de référence (1500/3000) et la procédure PRISALT (1500/5000).

Micro	1	2	3
Ecart SEL (dB) PRISALT-REF	-1.4	-0.8	-0.2

L'écart de vitesse le plus important entre la procédure PRISALT et la procédure de référence est présent au niveau du premier micro (cf Annexe 6.2.A), ce qui explique, malgré une réduction en LA_{max} notable (-4.1dB), un écart en SEL certes toujours en faveur de la procédure PRISALT mais moindre (-1.39dB). La figure ci-dessous illustre la durée d'intégration plus importante du signal sonore pour la procédure PRISALT, qui tend à diminuer le gain en niveau instantané. Les autres micros présentent des écarts plus dimensionnés par le niveau LA_{max} , les vitesses des avions sur les deux procédures étant plus proches.

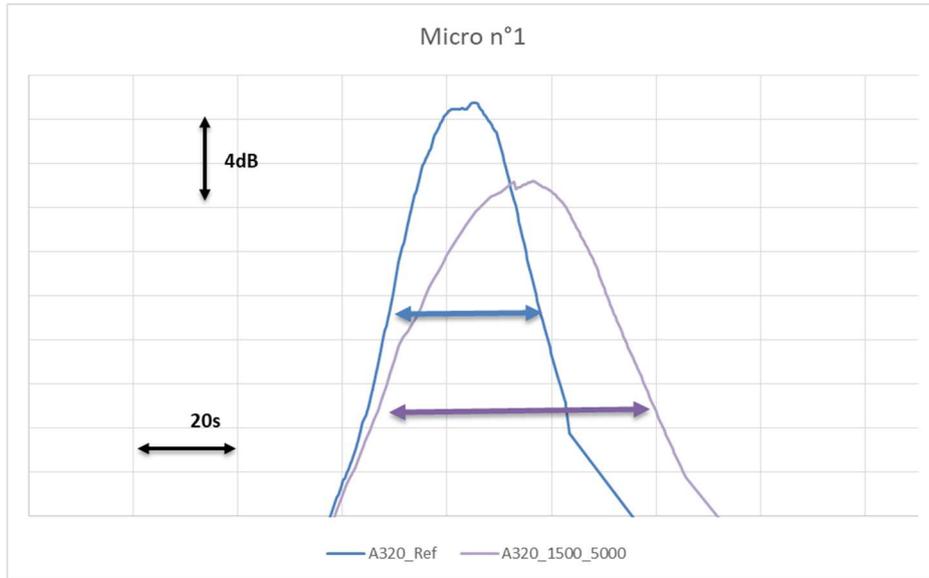


Figure 12 SEL: L_{Amax} vs temp

3.2.B.4.2 A330

Le tableau ci-dessous présente les écarts en SEL entre la procédure de référence (1500/3000) et la procédure PRISALT (1500/5000).

Micro	1	2	3
Ecart SEL (dB) PRISALT-REF	-0.1	-0.4	0.4

L'écart de vitesse le plus important entre la procédure PRISALT et la procédure de référence est présent au niveau du deuxième micro (cf Annexe 6.2.B), ce qui explique, malgré une réduction en LA_{max} de -2.4dB, un écart en SEL plus réduit pour la procédure (-0.4dB). La figure ci-dessous illustre la durée d'intégration plus importante du signal sonore pour la procédure PRISALT qui pondère à la baisse l'écart en SEL pour les deux procédures. Les autres micros présentent des écarts plus dimensionnés par le niveau LA_{max} les vitesses des avions sur les deux procédures étant plus proches.

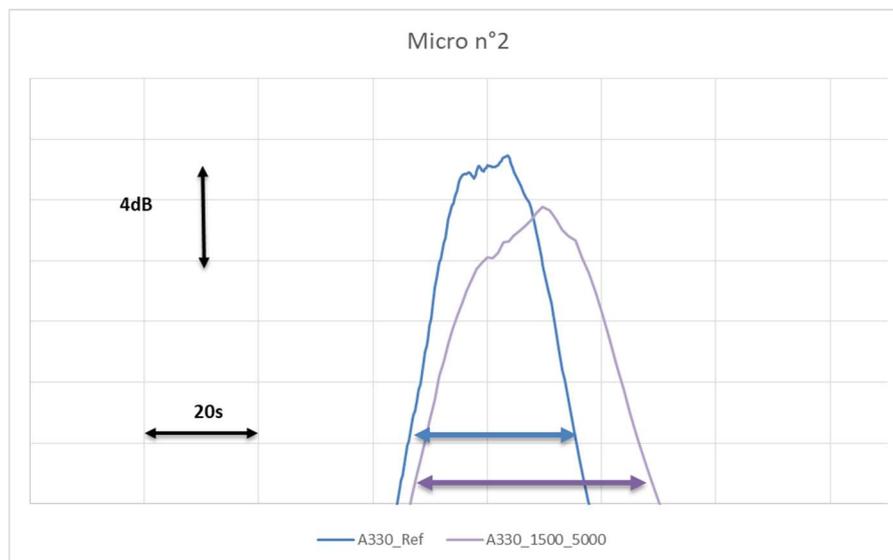


Figure 13 SEL: LA_{max} vs temp

3.2.B.4.3 A350

Le tableau ci-dessous présente les écarts en SEL entre la procédure de référence (1500/3000) et la procédure PRISALT (1500/5000).

Micro	1	2	3
Ecart SEL (dB) PRISALT-REF	-0.5	-0.4	0.2

Une nouvelle fois sur les micros 1 et 2 les vitesses avions sur les deux procédures (Référence et PRISALT) sont proches (cf. Annexe 6.2.C). Les écarts en SEL entre les deux procédures sont donc plutôt pilotés par les écarts en LA_{max} . Sur le micro 2 le gain en SEL apporté par la procédure PRISALT est plus modeste (-0.4dB) que celui en LA_{max} (-2.9dB), cela s'explique notamment par un écart de vitesse avion entre les deux procédures au niveau de ce point ; ce qui influence le temps d'intégration du champ sonore en LA et donc la valeur du SEL.

La figure ci-dessous illustre cet aspect en présentant l'évolution temporelle des champs sonore en LA pour les deux procédures au niveau du micro 2.

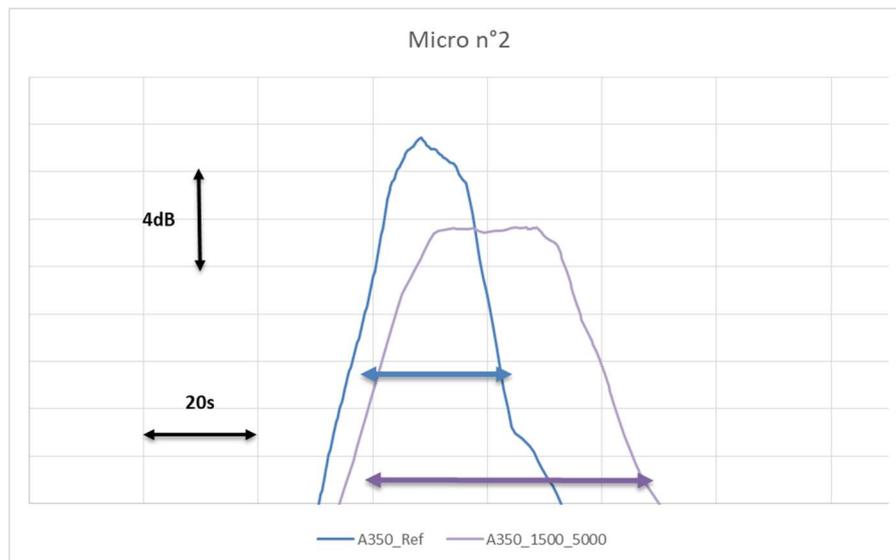


Figure 14 SEL: LA_{max} vs temp

34	RAPPORT DE L'ETUDE D'OPTIMISATION BRUIT AEROPORT D'ORLY	NAV.B.TEC.18.0088
	DEPARTS PISTES 08 ET 24	4 TH FEB 2019

Synthèse de l'étude PRISALT (1500/5000)

L'étude de la proposition PRISALT avec une altitude de réduction de poussée à 1500ft et une altitude d'accélération à 5000ft a permis de mettre en lumière des gains de bruit par rapport à la procédure de référence (1500ft/3000ft). Ces gains sont présents sur le premier micro pour l'A320 (4dB) et sur le deuxième micro pour l'A330 et l'A350 (entre 2 et 3 dB). Les autres micros ne voyant pas apparaître de différence notable.

La conservation d'une altitude de réduction à 1500ft garanti (à iso conditions de décollage) une non modification des empreintes sonore entre la procédure de référence et la procédure PRISALT pour toute la procédure en amont de ce point de trajectoire.

Par contre, l'augmentation de l'altitude d'accélération induit une vitesse avion plus faible pour la procédure PRISALT à partir de 3000ft. Outre l'impact potentiel sur une contrainte de flux de sortie de l'aéroport, cet effet peut aussi altérer la durée du signal sonore perçu au sol. Ce phénomène est illustré par l'utilisation d'une métrique d'exposition au bruit (le SEL) tel que présenté plus haut. On peut observer des écarts en bruit minorés par rapport au LA_{max} .

Il faut remarquer que cette solution PRISALT s'accompagne d'une augmentation systématique de consommation carburant pour les trois avions.

4. Études complémentaires d'optimisation

CHAPTER 04

NAVBLUE

AN AIRBUS COMPANY

36	RAPPORT DE L'ETUDE D'OPTIMISATION BRUIT AEROPORT D'ORLY	NAV.B.TEC.18.0088
	DEPARTS PISTES 08 ET 24	4 TH FEB 2019

4.1. Traduction des hypothèses de l'étude sur les contraintes d'optimisation

4.1.A. Définition des domaines d'exploration des altitudes de réduction et d'accélération.

Le principe d'optimisation du profil vertical sur la phase de départ intègre au mieux les contraintes opérationnelles et ATC qui viennent, par définition même d'une contrainte, réduire le domaine des solutions optimales. Concernant le cas présent le contexte de l'étude va essentiellement influencer les bornes d'exploration des paramètres décrivant le profil vertical, à savoir l'altitude de réduction de poussée et l'altitude d'accélération.

4.1.B. Altitude de réduction de poussée.

Afin de ne pas générer des solutions qui ne seraient pas exploitable dans le contexte opérationnel choisi, des bornes minimales et maximales ont été définies pour l'altitude de réduction.

Altitude minimum de réduction de poussée :

Bien que la définition PANS-OPS (Doc ICAO 8168) des procédures NADP tolère une réduction de poussée débutant à 800ft sol, la préparation de la présente étude avec les opérateurs concernés a permis de fixer une valeur minimale à 1000ft.

Altitude maximum de réduction de poussée :

Une nouvelle fois les PANS-OPS nous fournisse un cadre pour la valeur maximale que nous fixons à 3000ft. Cette première approche est renforcée par nos expériences précédentes concernant les pratiques opérationnelles de certains opérateurs qui ne déclenchent l'allumage des Packs qu'après avoir franchi cette altitude de réduction. Ces packs étant liés à la pressurisation cabine, il a été pris comme hypothèse de ne pas retarder au-delà l'altitude de réduction.

Nous avons donc pour tous les avions concernés dans l'étude et quelle que soit le couple piste/SID concerné d'adopter le domaine d'exploration de la poussée de réduction suivant : [1000ft ; 3000ft].

4.1.C. Traduction de la contrainte ATM sur le domaine d'exploration de l'altitude d'accélération.

Altitude minimum d'accélération

Une même réflexion est menée concernant l'altitude l'accélération. Pour la même raison que l'altitude de réduction, la valeur minimum qui est choisie pour l'altitude d'accélération est de 1000ft.

Altitude maximale d'accélération

Il a été demandé dans le contexte de l'étude que les solutions qui seront identifiées n'impactent pas de façon négative la capacité aéroport. Cela se traduit, comme exprimé au paragraphe 2.1.B par une vitesse minimum à respecter en un point précis. Il faut donc s'assurer que chaque aéronef étudié ici puisse atteindre cette vitesse en commençant à accélérer avant le point de contrôle. Cela va se concrétiser en une altitude maximum d'accélération à respecter pour un avion précis et par départ.

La synthèse des domaines d'exploration des altitudes d'accélération est donc :

Départ 08/LGL 7E

Avion	Altitude minimum d'accélération	Altitude maximale d'accélération
A320-200	1000 ft	4500 ft
A330-300	1000 ft	2900 ft
A350-900	1000 ft	2800 ft

Départ 24/LGL 6P

Avion	Altitude minimum d'accélération	Altitude maximale d'accélération
A320-200	1000 ft	4100 ft
A330-300	1000 ft	2800 ft
A350-900	1000 ft	2800 ft

Note : Exception à ce domaine est appliqué au chapitre 4, sous demande spécifique d'une étude avec altitude d'accélération à 5000ft.

38	RAPPORT DE L'ETUDE D'OPTIMISATION BRUIT AEROPORT D'ORLY	NAV.B.TEC.18.0088
	DEPARTS PISTES 08 ET 24	4 TH FEB 2019

4.1.D. Respect de la trace au sol de la procédure

A des fins de comparaisons entre procédures, et pour adhérer au choix de ne pas considérer d'effet de dispersion (à ce stade l'étude), il a été décidé d'utiliser la trace sol des procédures utilisées comme trace moyenne. La modélisation des trajectoires s'est donc attachée à suivre au mieux pour chaque avion ce tracé latéral. Le virage à 180° de la SID LGL 7E a donc introduit les contraintes en vitesses maximum pour les deux avions suivants :

A330-300 : Vitesse max dans le virage = 235kt

A350-900 : Vitesse max dans le virage = 235kt

4.2. Résultats : Départs piste 08

4.2.A. A320

Les résultats d'optimisations sur A320 sont présentés par comparaison au cas de référence, calculé avec $ZP_{red} = 1500Ft$ et $ZP_{accel} = 3000Ft$.

Résultats Micro 1 :

Le graphique suivant présente le front de Pareto obtenu suite à l'optimisation sur le micro 1 :

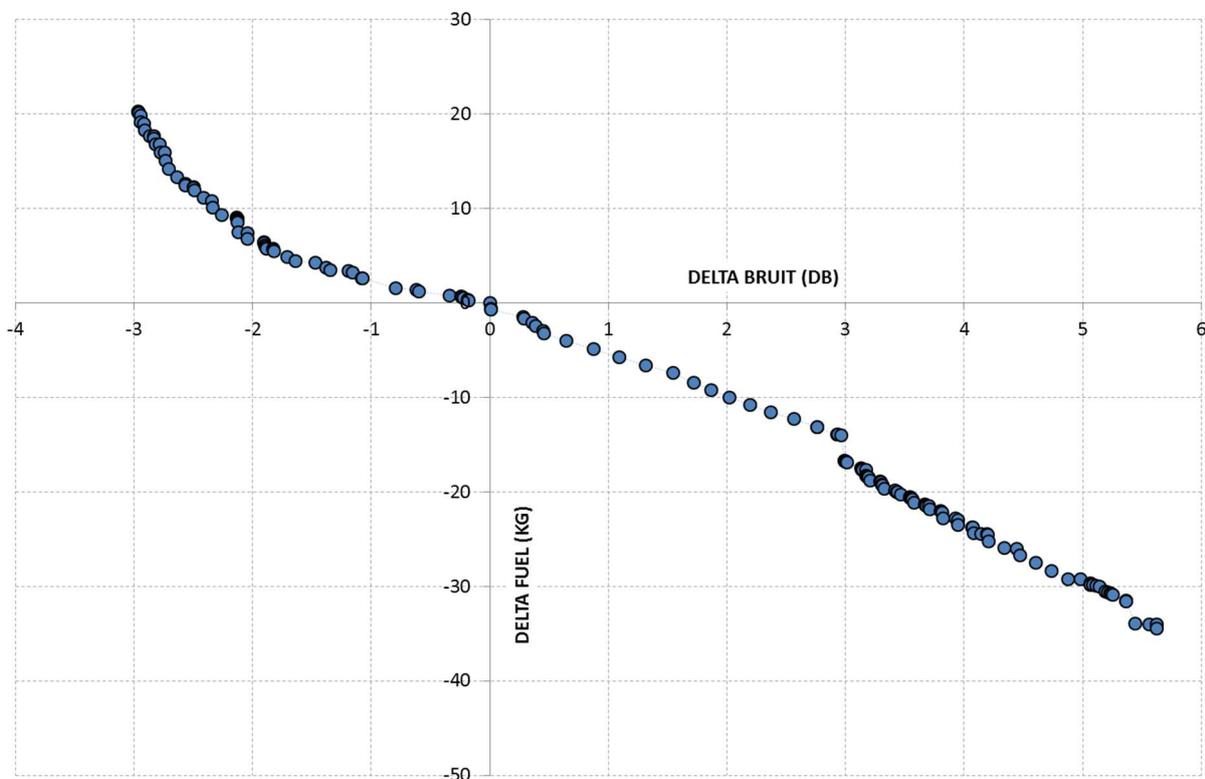


Figure 15 A320 Front Pareto Fuel vs Bruit

Ce graphique indique tout d'abord que la trajectoire de référence est un des points optimaux puisque le front de Pareto passe par 0. Le gain bruit peut atteindre -3dB (associé à +20kg en fuel) et -35Kg en fuel (associé à +5.5dB).

Les solutions associées (couple ZP_{red} & ZP_{accel}) dépendent essentiellement de l'altitude d'accélération car l'évolution du niveau de poussée entraînée par le passage à l'altitude de réduction est très faible. Le niveau Flex du décollage est

très proche du niveau Max Climb (mis en évidence sur le cas de référence en annexe 7).

Les solutions associées aux points du front de Pareto se réduisent donc à l'altitude d'accélération, présentée sur le graphique suivant en fonction du delta bruit :

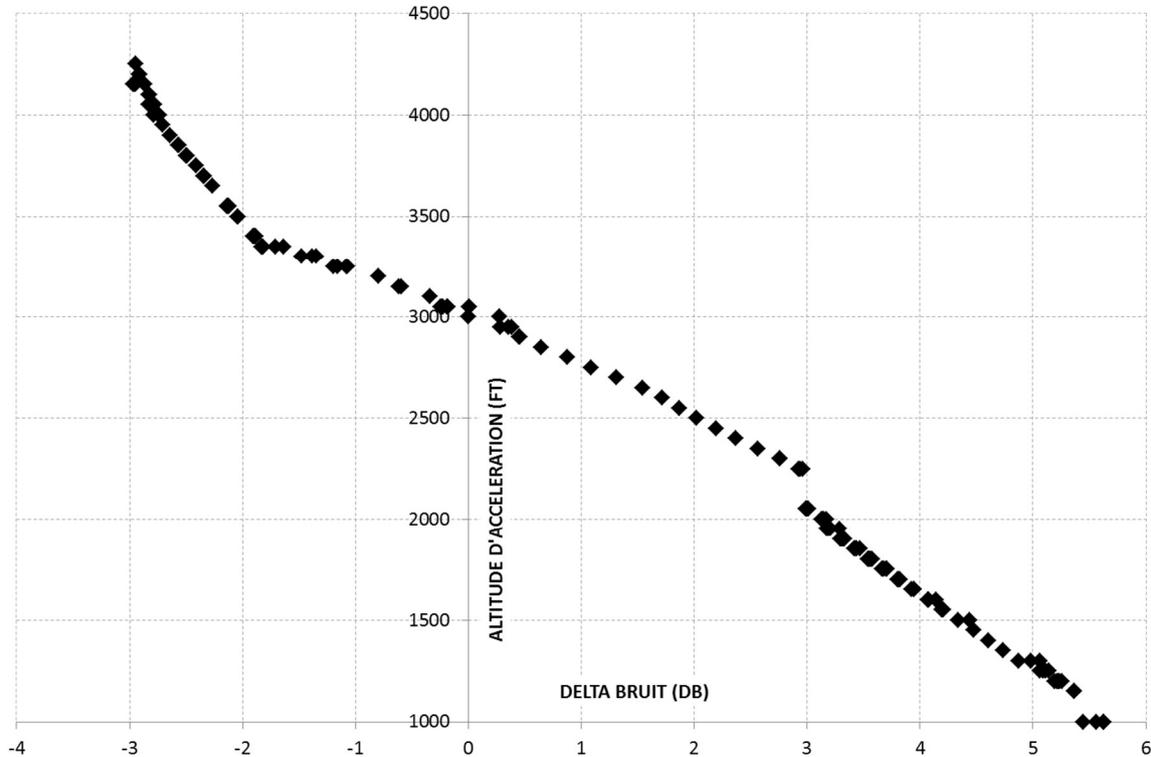


Figure 16 A320 Front Pareto Altitude Acc vs Bruit

L'évolution de l'altitude d'accélération en fonction du delta bruit peut être considérée comme continue pour une altitude d'accélération inférieure à 4250Ft. Une altitude d'accélération haute favorisera un gain bruit sur le micro 1 (ZPaccél = 4150Ft → Delta Bruit = -3dB) alors qu'une altitude basse favorisera un gain fuel (ZP = 1000Ft → -40kg).

Résultats Micro 2 :

Le graphique suivant présente le front de Pareto obtenu suite à l'optimisation sur le micro 2 :

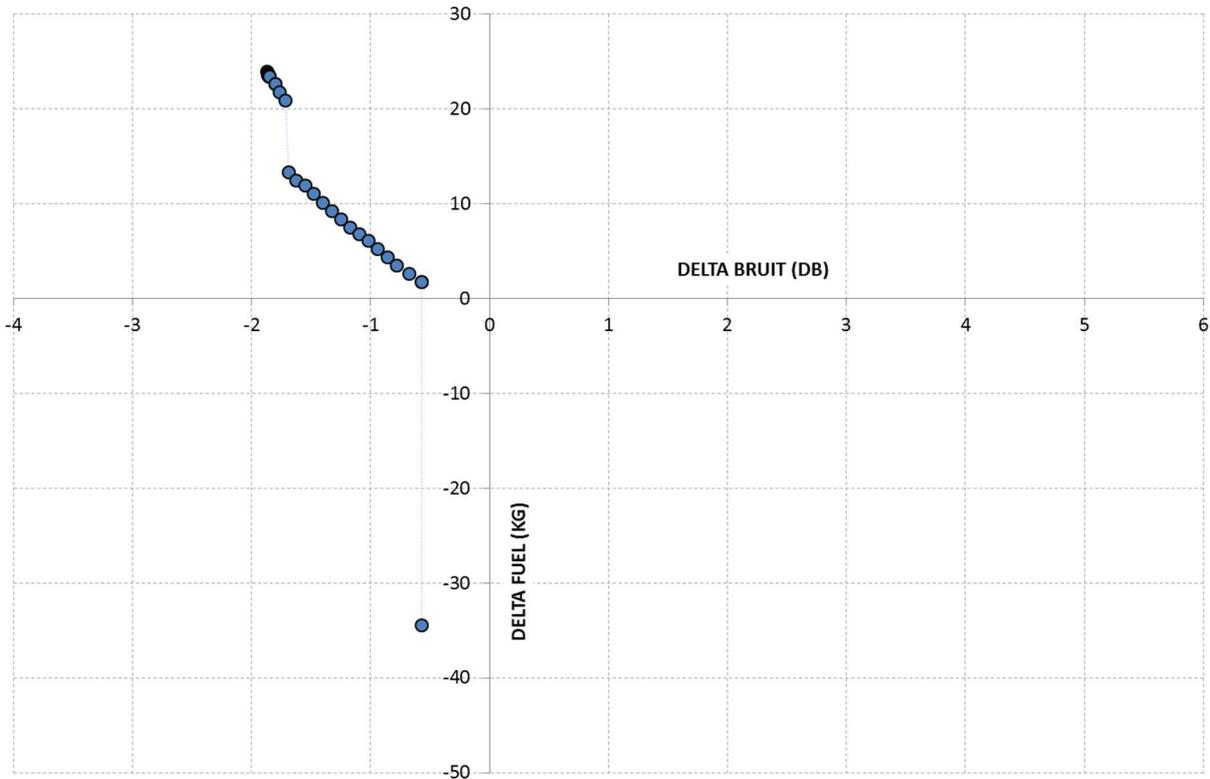


Figure 17 A320 Front Pareto Fuel vs Bruit

Contrairement au cas du micro1, ce graphique indique que la trajectoire de référence n'est pas optimale puisqu'il est possible d'avoir un gain en bruit ou/et en fuel sur tous les points du front de Pareto. Ces gains peuvent atteindre - 1.9dB en bruit (associé à +25kg en fuel) et -35kg en fuel (associé à -0.6dB).

Comme pour le micro 1, les solutions associées (couple ZP_{red} & ZP_{acc}) dépendent essentiellement de l'altitude d'accélération car l'évolution du niveau de poussée entraînée par le passage à l'altitude de réduction est très faible. Le niveau Flex du décollage est très proche du niveau Max Climb (mis en évidence sur le cas de référence en annexe 7).

Les solutions associées aux points du front de Pareto se réduisent donc à l'altitude d'accélération, présentée sur le graphique suivant en fonction du delta bruit :

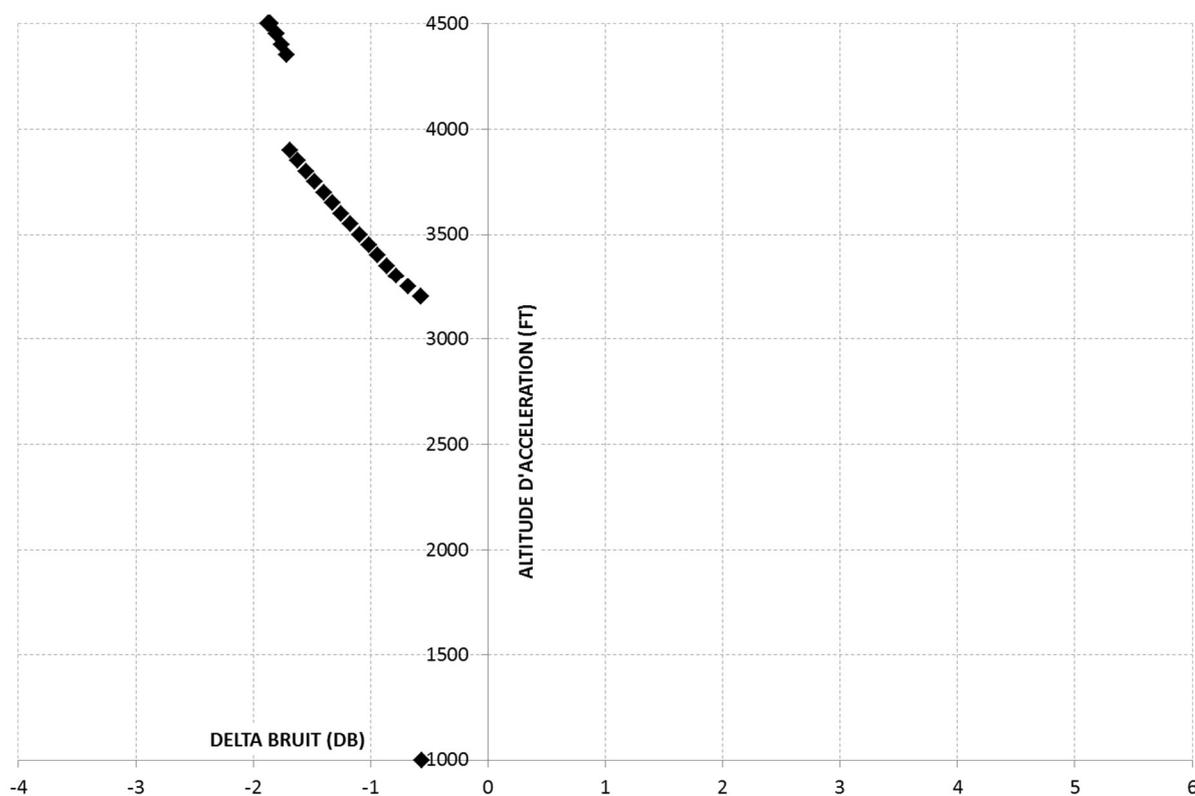


Figure 18 A320 Front Pareto Altitude Acc vs Bruit

Contrairement au cas du micro 1, l'évolution de l'altitude d'accélération en fonction du delta bruit n'est pas continue. Les cas ayant notamment une altitude d'accélération comprise entre 1050Ft et 3150Ft, dont fait partie le cas de référence, ne sont pas optimums en bruit.

Résultats combinés :

A partir de des deux fronts générés sur chacun des micros, quelques cas spécifiques ont été complétés par un calcul de delta bruit sur le micro non utilisé pour l'optimisation. Par exemple, pour le cas minimum bruit obtenu sur le micro 1, le delta bruit sur le micro 2 est calculé.

Le tableau suivant présente donc le delta bruit micro 1, le delta bruit micro 2 et le delta fuel pour quelques solutions particulières :

Nom du cas	ZPaccel.	Delta Bruit Micro 1	Delta Bruit Micro 2	Delta Fuel
Min Bruit Micro 1	4150 FT	-3 dB	-1.4 dB	+20 kg
Min Bruit Micro 2	4500 FT	-2.5 dB	-1.9 dB	+ 24 kg
Cas Intermédiaire	3200 FT	-0.8 dB	-0.6 dB	+ 2 kg
Min Fuel	1000 FT	+5.6 dB	-0.6 dB	- 35 kg

Pour chacune des solutions présentées dans ce tableau, la trajectoire a été tracée et comparée au cas de référence en annexe 7.

Empreintes sonores

Afin de compléter l'illustration des réductions de bruit les images suivantes présentent les empreintes sonores pour les cas minimum bruit et minimum de consommation carburant. Les empreintes sonores correspondent à des courbes d'iso niveau de bruit.

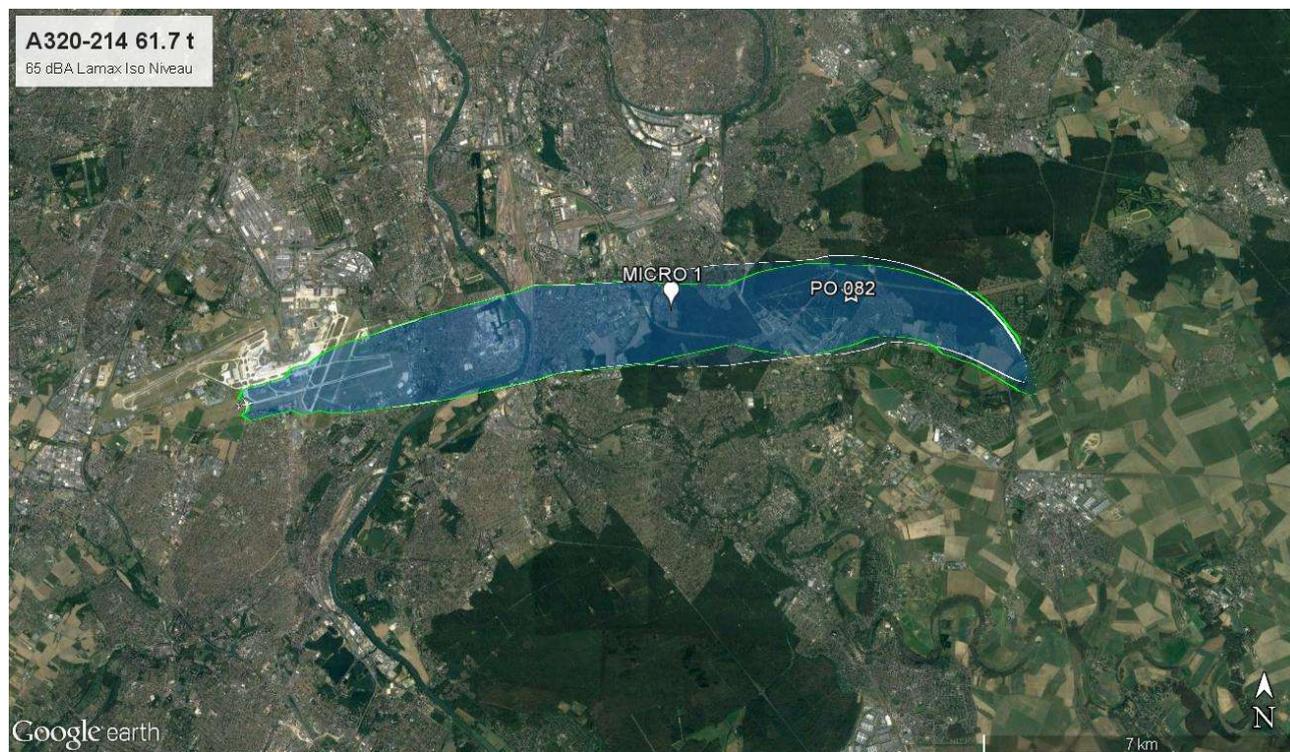


Figure 19 Minimum bruit micro 1 - Iso contour à 65dB

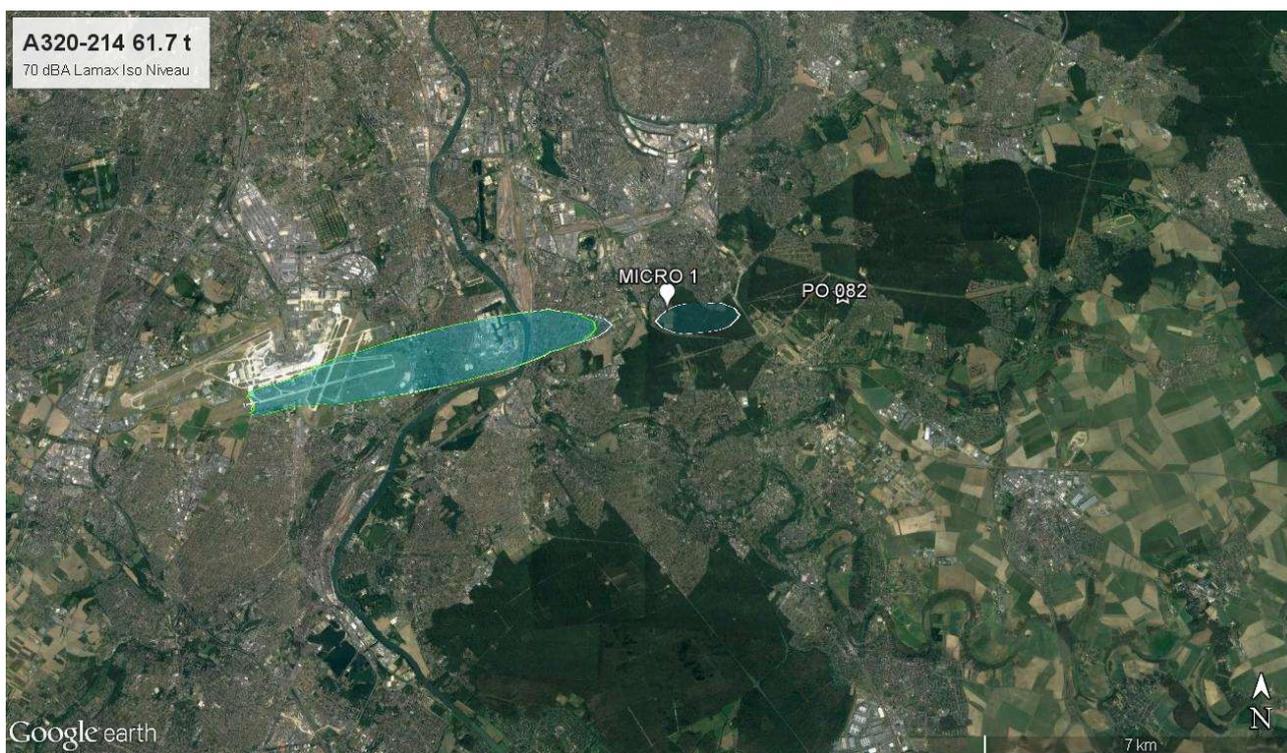


Figure 20 Minimum bruit micro 1 Iso contour à 70db

La réduction de bruit au micro 1 permet de réduire l’empreinte sonore (courbe verte) comparée à celle de la procédure de référence (courbe blanche). On ne constate pas d’impact en amont du micro 1, de même la longueur de l’empreinte sonore est très sensiblement identique pour les deux procédures.

46	RAPPORT DE L'ETUDE D'OPTIMISATION BRUIT AEROPORT D'ORLY	NAV.B.TEC.18.0088
	DEPARTS PISTES 08 ET 24	4 TH FEB 2019

La procédure optimisée présente une nette réduction de l'iso contour à 70 dB avec une disparition de l'îlot proche du micro 1 ainsi qu'une légère réduction de la longueur du contour principal. On ne remarque pas de dégradation en amont du micro 1.

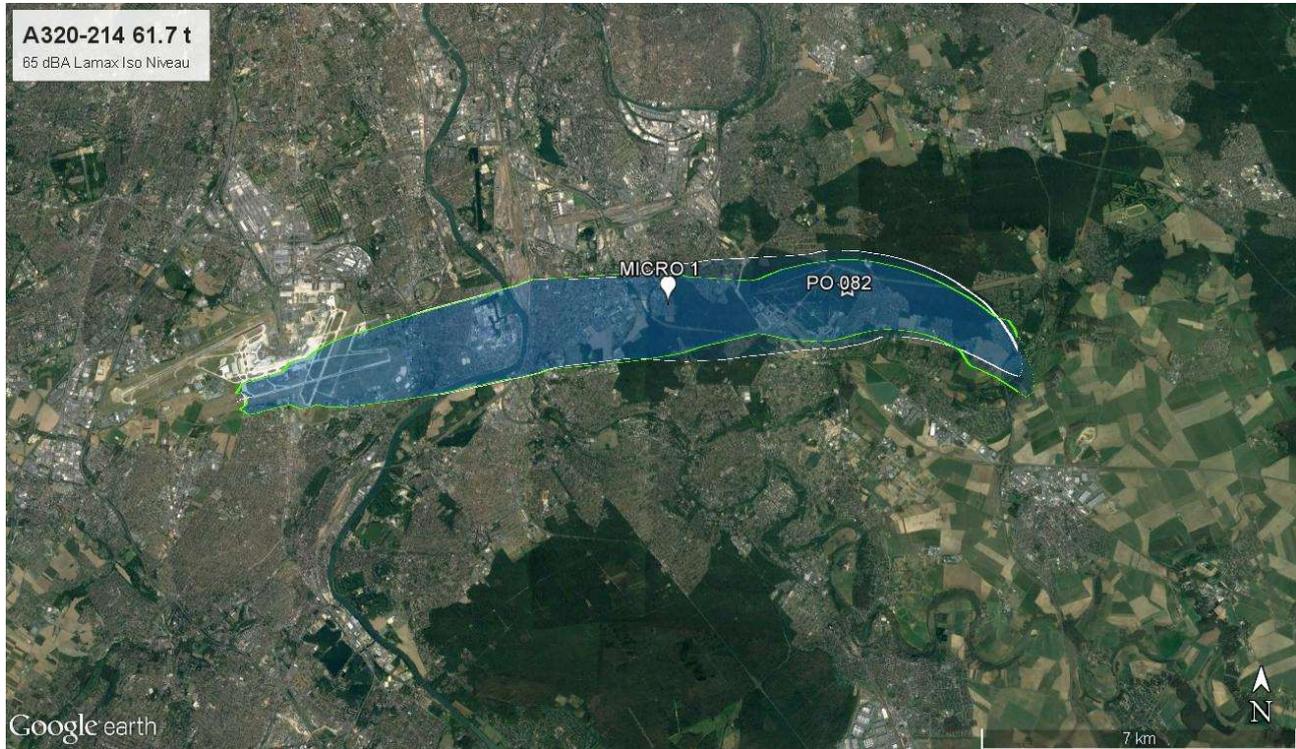


Figure 21 Minimum bruit micro 2 Iso contour 65dB

Cette solution minimum bruit sur le micro 2 présente une réduction de l'iso contour à 65dB par rapport à la procédure de référence (contour vert comparé au contour blanc). Une fois encore il n'y a pas d'altération notable du bruit en amont ou en aval des deux micros.

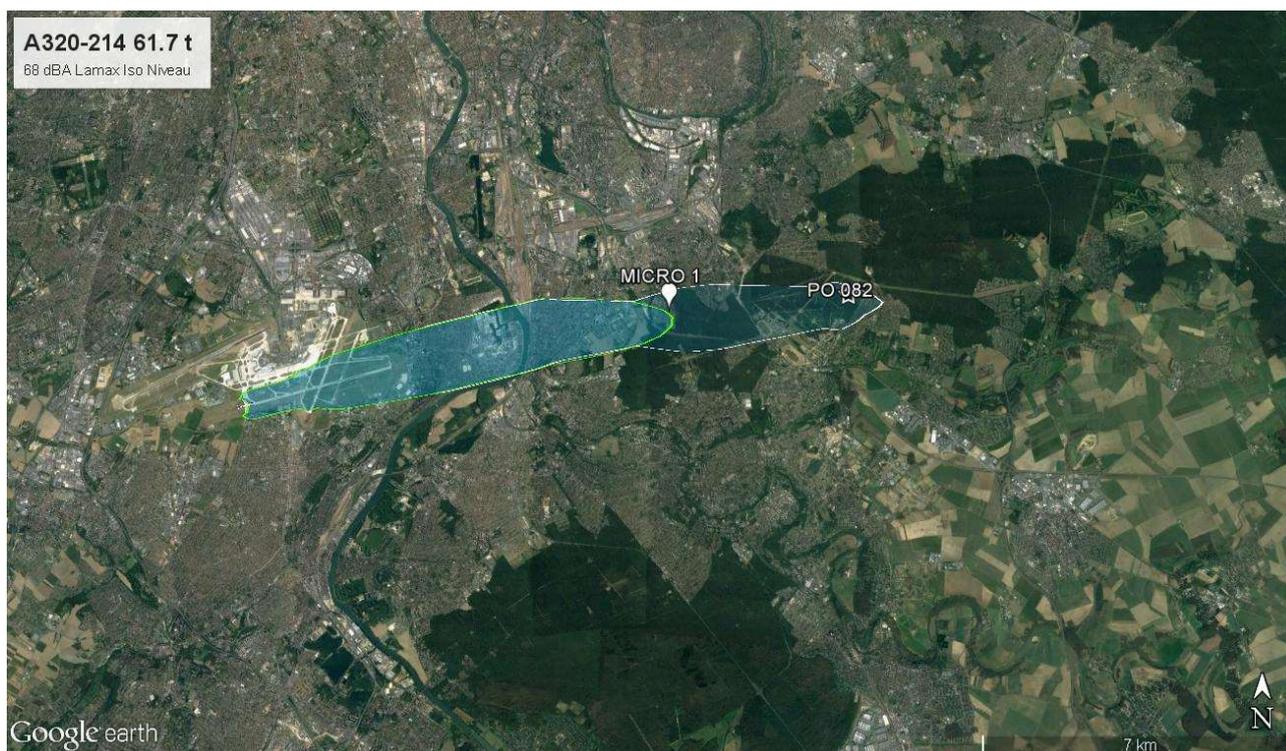


Figure 22 Minimum bruit micro 2 Iso contour 68dB

La réduction de l'iso contour à 68dB est très notable sur cette image où la longueur de l'empreinte est fortement réduite pour la procédure optimisée (contour vert) en comparaison de la procédure de référence (contour blanc).

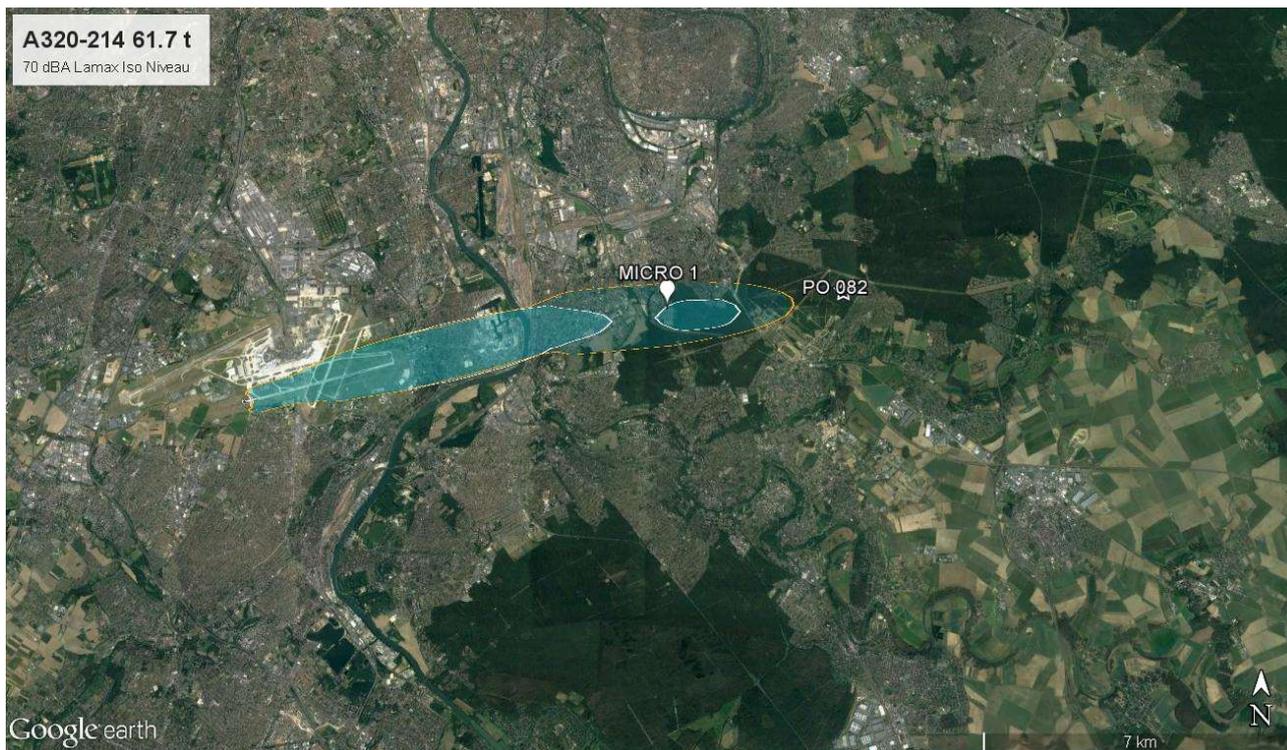


Figure 23 Minimum fuel Iso contour à 65dB

La solution minimum fuel (contour jaune) n'impact pas l'iso contour à 65dB comparé à la procédure de référence (contour blanc).



Figure 24 Minimum fuel Iso contour à 70dB

Cette fois-ci et conformément aux niveaux de bruit exprimés aux micros l'impact négatif sur le bruit proche aéroport d'une procédure optimisée consommation de carburant est bien visible avec une très nette augmentation de l'empreinte sonore à 70dB (contour jaune) comparé à la procédure de référence (contour blanc).

4.2.B. A330

Les résultats d'optimisations sur A330 sont présentés par comparaison au cas de référence, calculé avec $ZP_{red} = 1500Ft$ et $ZP_{accel} = 2900Ft$ (limité par la contrainte en vitesse à 200kt à PO 082). La vitesse CAS après accélération est de 235kt (vitesse maximum permettant de respecter le rayon de virage).

Résultats Micro 1 :

Le graphique suivant présente le front de Pareto obtenu suite à l'optimisation sur le micro 1 :

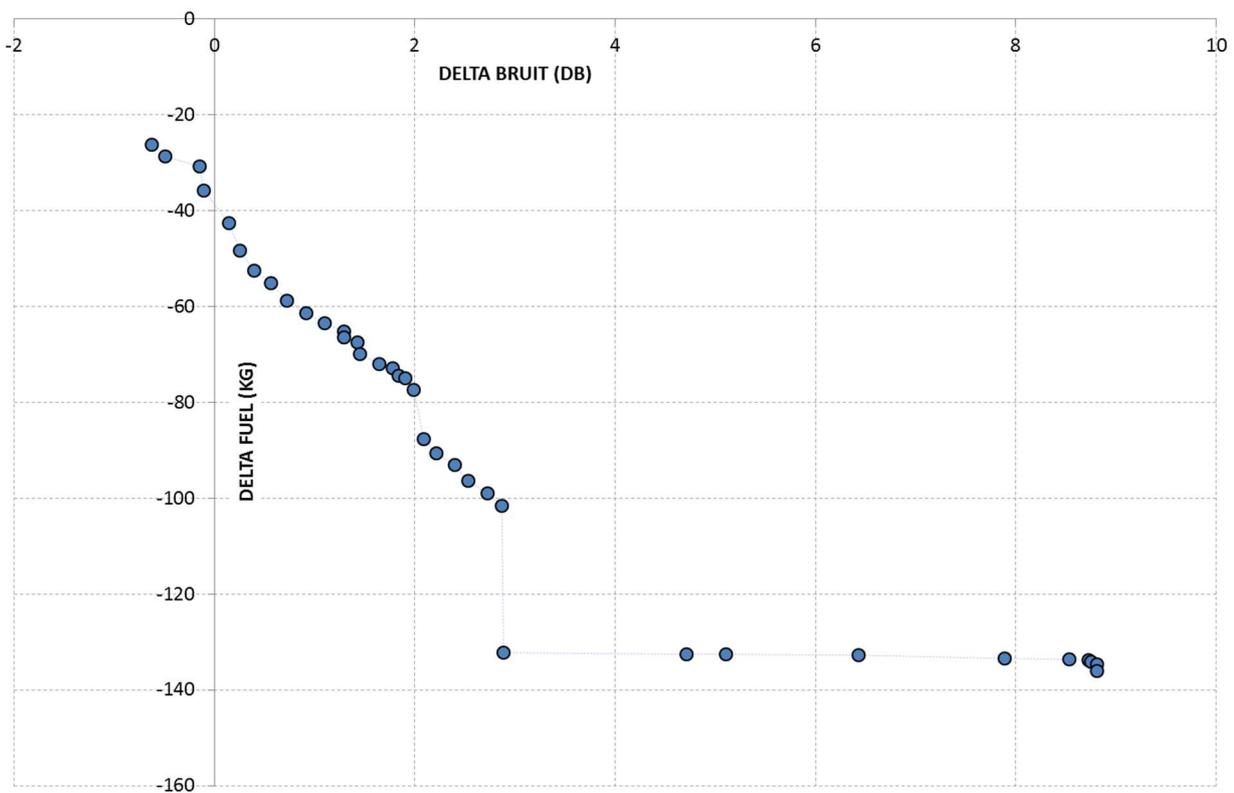


Figure 25 A330 Front Pareto Fuel vs Bruit

Ce graphique indique que la trajectoire de référence n'est pas optimale puisqu'il est possible d'avoir un gain en fuel ou/et en bruit sur tous les points du front de Pareto. Ces gains peuvent atteindre -0.7dB en bruit (associé à -26kg en fuel) et -136kg en fuel (associé à +8.8dB).

Le graphique suivant présente les solutions associées à chaque point du front de Pareto, avec l'altitude de réduction et l'altitude d'accélération en fonction du delta bruit :

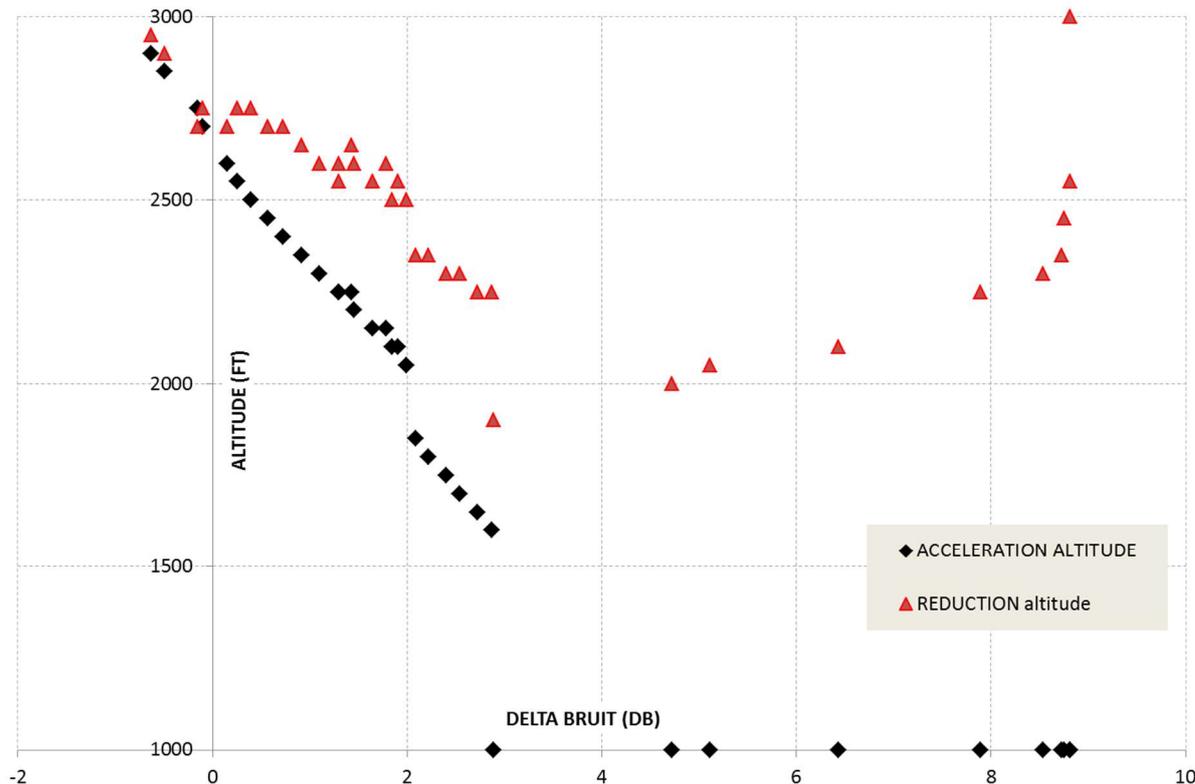


Figure 26 A330 Front Pareto Altitude Acc vs Bruit

La solution minimum bruit est obtenue pour ZPred = 2950Ft et ZPaccl = 2900Ft. La solution minimum fuel est obtenue pour ZPred = 3000Ft et ZPaccl = 1000Ft. A noter que la solution ZPred = 1900Ft et ZPaccl = 1000Ft permet d'avoir un gain fuel équivalent au minimum fuel (-132kg) tout en limitant la dégradation du delta bruit (+2.9dB à comparer au +8.8dB).

Résultats Micro 2 et 3 :

Les calculs d'optimisations sur le micro 2 et sur le micro 3 n'ont pas générés de fronts de pareto mais ont abouti à une solution optimale commune aux deux micros. Cette solution est présentée dans le tableau suivant :

ZPred	ZPacel	Delta Bruit Micro 2	Delta Bruit Micro 3	Delta Fuel
3000 Ft	1000 Ft	-2.5 dB	-2.4 dB	-136 kg

L'obtention d'une solution optimale s'explique notamment par le fait que la contrainte de vitesse à 200kt à PO 082, limitant ainsi l'altitude d'accélération maximum à 2900 Ft, est très contraignante pour cet avion sur ces deux micros.

Résultats combinés :

A partir de des optimisations réalisées sur chacun des micros, quelques cas spécifiques ont été complétés par un calcul de delta bruit sur les micros non utilisés pour l'optimisation. Par exemple, pour le cas minimum bruit obtenu sur le micro 1, les deltas bruit sur le micro 2 et micro 3 sont calculés.

Le tableau suivant présente donc le delta bruit micro 1, le delta bruit micro 2, le delta bruit micro 3 et le delta fuel pour quelques solutions particulières :

Nom du cas	ZPred	ZPacel.	Delta Bruit Micro 1 / Micro 2 / Micro 3	Delta Fuel
Min Bruit Micro 1	2950 FT	2900 FT	-0.7 dB / -0.8 dB / -1.3 dB	-26 kg
Min Bruit Micro 2-3	3000 FT	1000 FT	+8.8 dB / -2.4 dB / -2.4 dB	-136 kg
Cas Intermédiaire	2750 FT	2700 FT	-0.1 dB / -1.3 dB / -1.3 dB	-36 kg
Cas intermédiaire 2	1900 FT	1000 FT	+2.9 dB / -1.4 dB / -1.9 dB	- 132 kg

A noter que la solution nommée Min Bruit Micro 2-3 est également la solution minimum fuel.

Pour chacune des solutions présentées dans ce tableau, la trajectoire a été tracée et comparée au cas de référence en annexe 8.

Empreintes sonores

Afin de compléter l'illustration des réductions de bruit les images suivantes présentent les empreintes sonores pour les cas minimum bruit et minimum de consommation carburant. Les empreintes sonores correspondent à des courbes d'iso niveau de bruit.

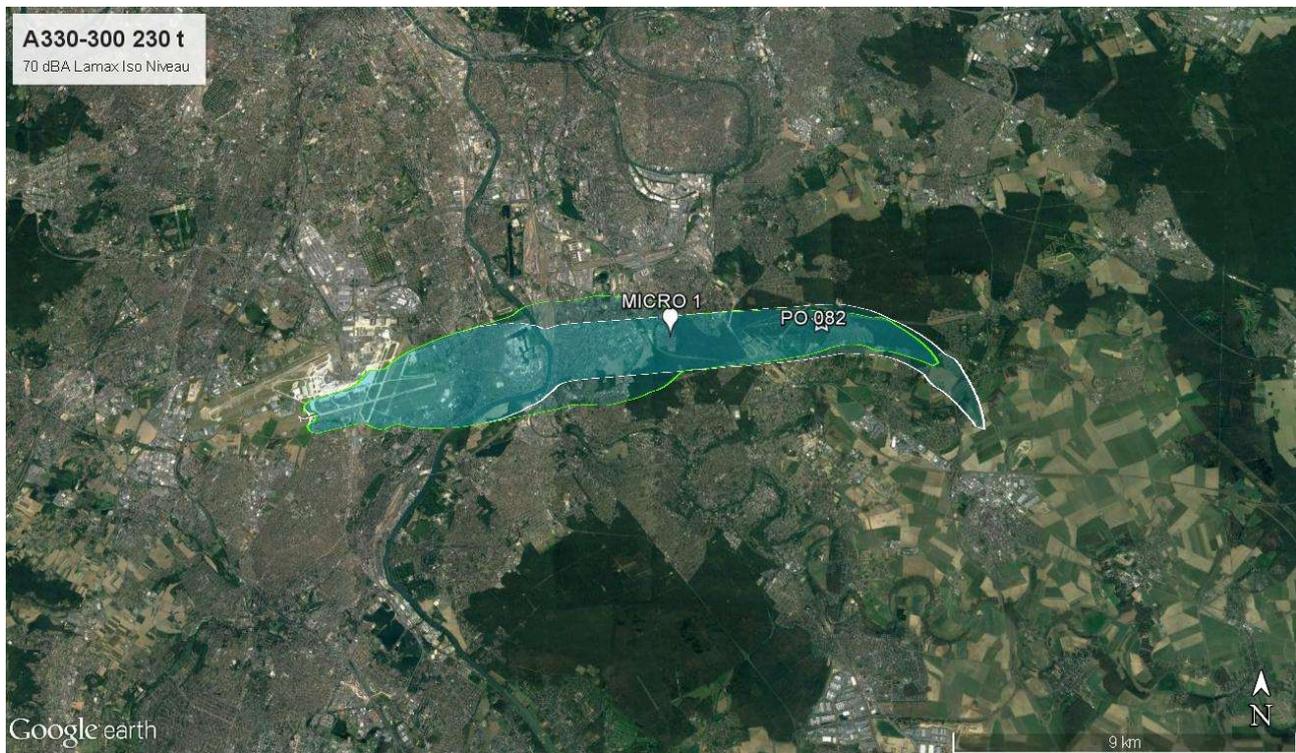


Figure 27 Minimum bruit micro 1 Iso contour 70dB

Si la solution optimale pour la réduction de bruit au micro 1 présente une réduction de l'empreinte sonore (contour vert) comparé à la procédure de référence (contour blanc) on constate cependant une augmentation de cette empreinte sonore en amont du micro 1. Cela provient du fait d'une remontée de l'altitude de réduction de poussée, maintenant par conséquence directe une poussée de décollage plus longtemps que dans le cas de la procédure de référence.

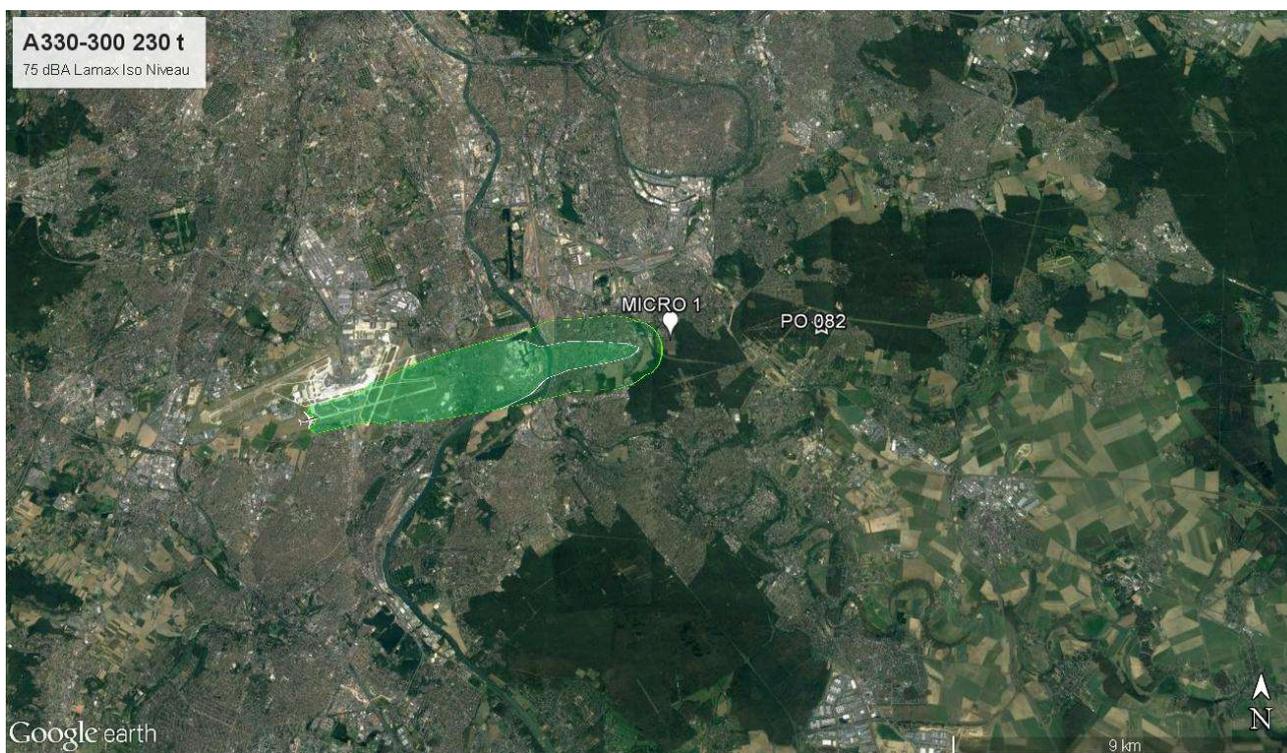


Figure 28 Minimum bruit micro 1 iso contour 75dB

La dégradation du bruit en amont de la position du micro 1 est encore plus visible avec cette valeur à 75dB de l'iso contour, montrant un fort agrandissement de l'empreinte sonore (contour vert) en amont du premier micro avec la solution de bruit minimum au micro 1 comparé à la procédure de référence (contour blanc).

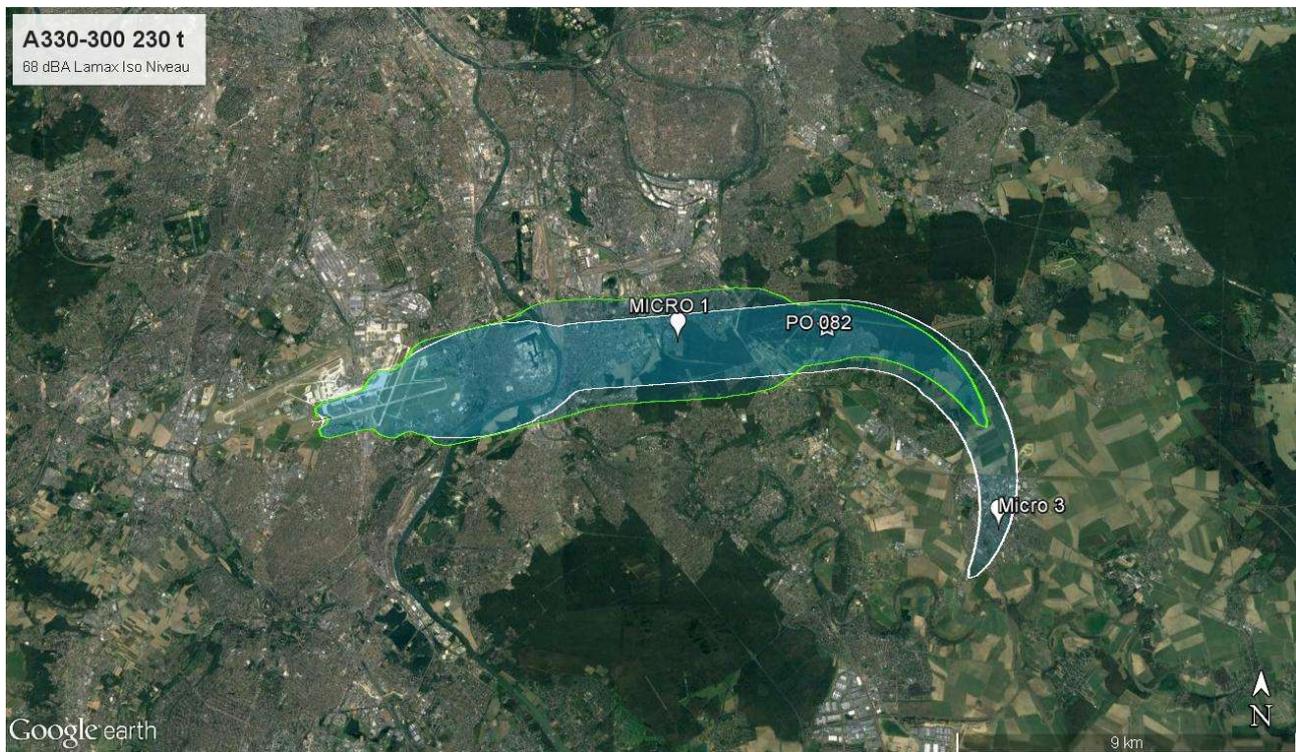


Figure 29 Minimum bruit micro 2 & 3 iso contour 68dB

La solution optimale permettant de réduire le niveau de bruit aux micros 2 et 3 présente une nette réduction de l’empreinte sonore (contour vert) dans la longueur et sa largeur au-delà du micro 2 comparé à la procédure de référence (contour blanc). Cependant tout comme la solution de réduction bruit au premier micro il faut remarquer une empreinte sonore plus large en amont du deuxième micro qui s’explique par le même principe d’une conservation de poussée de décollage plus longtemps dans le cas optimisé que dans le cas de référence.

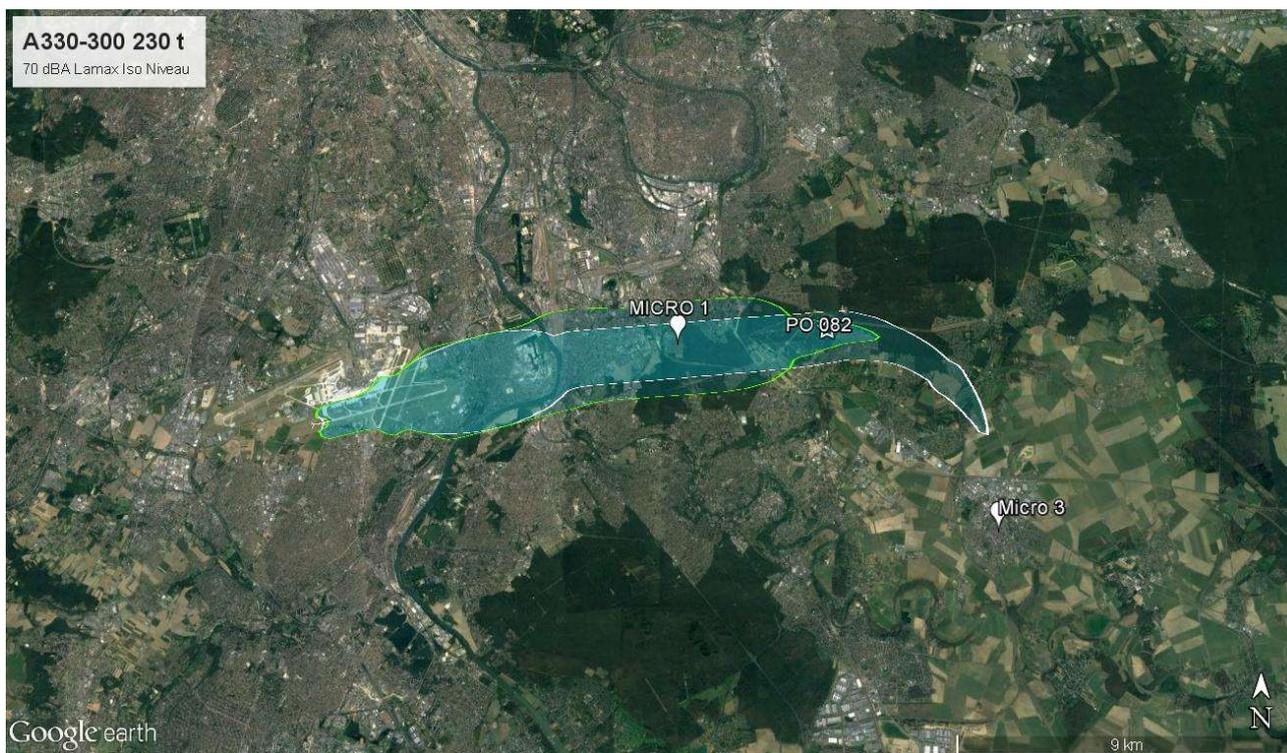


Figure 30 Minimum bruit micro 2 & 3 iso contour 70dB

Le comportement observé pour l'iso contour à 68dB se confirme pour celui à 70dB avec une nette réduction en longueur et largeur (contour vert) à partir du micro 2, comparé à la référence (contour blanc) mais en contrepartie une augmentation de sa largeur en amont du micro 2.

4.2.C. A350

Les résultats d'optimisations sur A350 sont présentés par comparaison au cas de référence, calculé avec $ZP_{red} = 1500Ft$ et $ZP_{accel} = 2800Ft$ (limité par la contrainte en vitesse à 200kt à PO 082). La vitesse CAS après accélération est de 235kt (vitesse maximum permettant de respecter le rayon de virage) et le régime de montée est Auto-Derate.

Résultats Micro 1 :

Le graphique suivant présente le front de Pareto obtenu suite à l'optimisation sur le micro 1 :

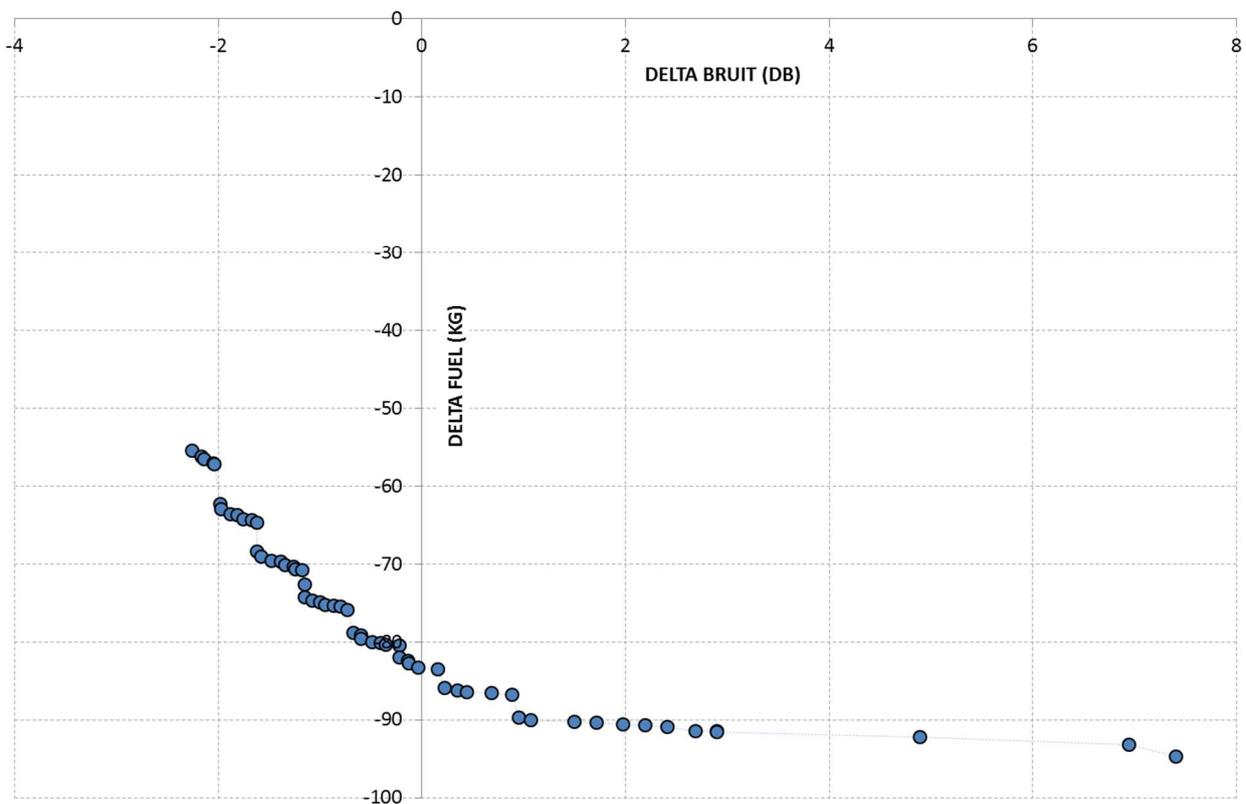


Figure 31 A350 Front Pareto Fuel vs Bruit

Ce graphique indique que la trajectoire de référence n'est pas optimale puisqu'il est possible d'avoir un gain en fuel ou/et en bruit sur tous les points du front de Pareto. Ces gains peuvent atteindre -2.3dB en bruit (associé à -56kg en fuel) et -94kg en fuel (associé à +7.4dB).

L'interprétation des solutions obtenues étant plus complexes que sur A320 et A330 (5 variables sur A350 contre 2 sur A320 / A330), celles-ci sont présentées sous forme de tableau en Annexe 9. En plus des solutions minimum bruit et minimum fuel, les solutions suivantes présentent un intérêt non négligeable :

scenario	Zpred (FT)	N1 (%)	ZPacel (FT)	Vnoise (KT)	ZPfinal (FT)	DELTA BRUIT (dB)	DELTA FUEL (KG)
39	1850	80.2	1000	225	2250	0.0	-83.3
46	1850	80	1000	235	2150	1.0	-89.8

La première permet d'avoir un gain fuel de -83kg sans aucune augmentation du niveau de bruit par rapport à la trajectoire de référence. La deuxième solution est très similaire. Elle permet d'avoir un gain fuel très proche du minimum fuel (-90 kg par rapport à -94kg) mais en limitant la détérioration du delta bruit (+1dB par rapport à +7.4dB).

Résultats Micro 2 :

Le graphique suivant présente le front de Pareto obtenu suite à l'optimisation sur le micro 2 :

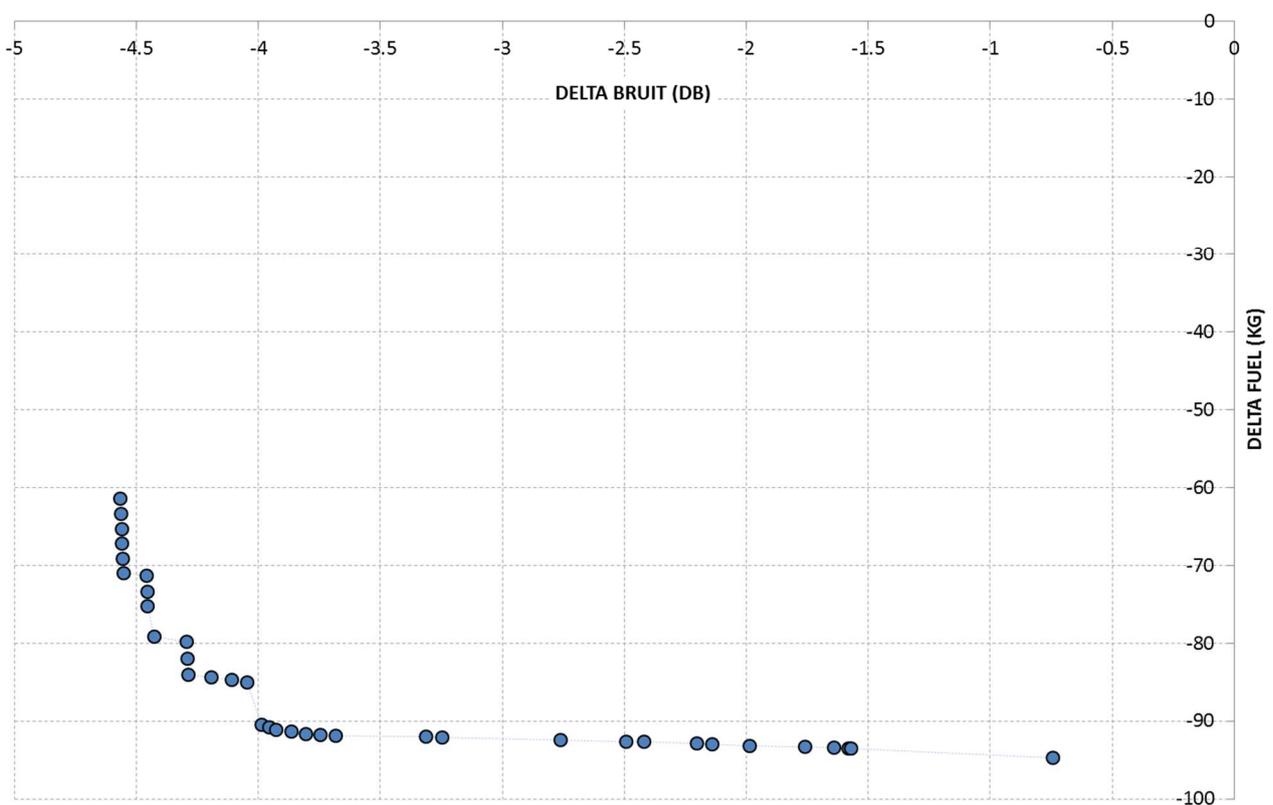


Figure 32 A350 Front Pareto Fuel vs Bruit

59	RAPPORT DE L'ETUDE D'OPTIMISATION BRUIT AEROPORT D'ORLY	NAVBLUE.TEC.18.0088
	DEPARTS PISTES 08 ET 24	4 TH FEB 2019

Ce graphique indique que la trajectoire de référence n'est pas optimale puisqu'il est possible d'avoir un gain en bruit et en fuel sur tous les points du front de Pareto. Ces gains peuvent atteindre -4.6dB en bruit (associé à -61kg en fuel) et -94kg en fuel (associé à -0.7dB).

Comme pour le cas sur le micro 1, les solutions sont présentées en annexe 10 sous forme de tableau. Les solutions obtenues sont très proches au niveau des altitudes de réduction et d'accélération, avec une altitude de réduction haute (~3000Ft) et une altitude d'accélération basse (~1000Ft). En plus des solutions minimum bruit et minimum fuel, la solution suivante présente un intérêt non négligeable :

scenario	ZPred (FT)	N1 (%)	ZPaccel (FT)	Vnoise (KT)	ZPfinal (FT)	DELTA BRUIT (dB)	DELTA FUEL (KG)
17	2950	79	1000	235	3650	-4.0	-90.5

Elle permet d'avoir un gain fuel proche du minimum fuel (-91 kg par rapport à -94kg) tout en maintenant un niveau de gain bruit assez important (-4dB).

Résultats combinés :

Pour compléter les résultats présentés sur chacun des micros, les solutions min bruit et min fuel ont été complétées par un calcul du delta bruit sur le micro non utilisé pour l'optimisation. Par exemple, pour le cas minimum bruit obtenu sur le micro 1, le delta bruit sur le micro 2 est calculé.

Le tableau suivant présente donc le delta bruit micro 1, le delta bruit micro 2 et le delta fuel pour ces solutions particulières :

Nom du cas	ZPred / N1 / ZPaccel / Vnoise / ZPfinal	Delta Bruit Micro 1 / Micro 2	Delta Fuel
Min Bruit Micro 1	2200FT / 80% / 1000FT / 200KT / 2800FT	-2.3 dB / -1 dB	-56 kg
Min Bruit Micro 2	3000FT / 79.4% / 1250FT / 220KT / 3900FT	+6.2 dB / -4.6 dB	-61 kg
Min Fuel	3000FT / 79.6% / 1000FT / 235KT / 3000FT	+7.4 dB / -1.6 dB	-94 kg

Pour chacune des solutions présentées dans ce tableau, la trajectoire a été tracée et comparée au cas de référence en annexe 11.

60	RAPPORT DE L'ETUDE D'OPTIMISATION BRUIT AEROPORT D'ORLY	NAV.B.TEC.18.0088
	DEPARTS PISTES 08 ET 24	4 TH FEB 2019

Empreintes sonores :

Afin de compléter l'illustration des réductions de bruit les images suivantes présentent les empreintes sonores pour les cas minimum bruit et minimum de consommation carburant. Les empreintes sonores correspondent à des courbes d'iso niveau de bruit.

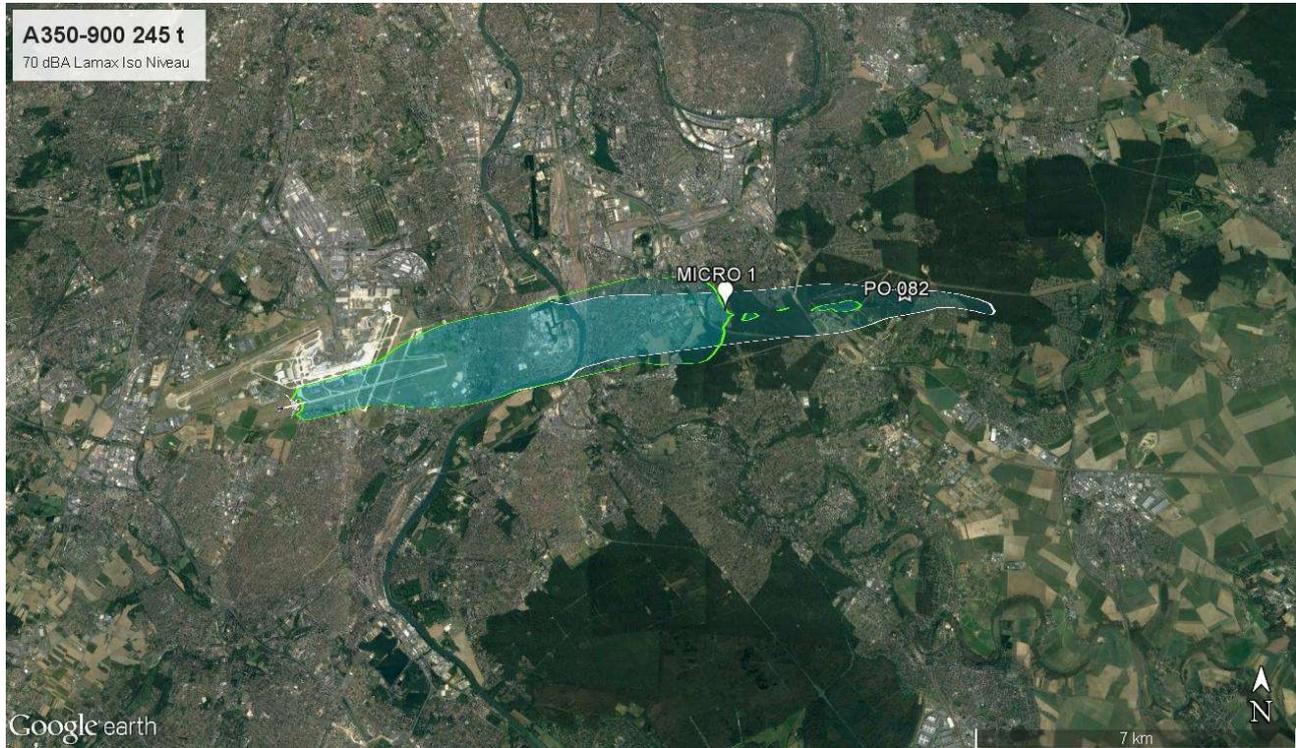


Figure 33 Minimum bruit micro 1 iso contour 70dB

La figure ci-dessous illustre la solution optimisée pour une réduction de bruit au micro 1. L'empreinte sonore de la solution présentant le minimum de bruit au micro 1 (contour vert) est très nettement réduite par rapport à la solution de référence (contour blanc). En contrepartie, en amont du micro 1 apparaît un élargissement de l'empreinte sonore lié au fait que la poussée de décollage est maintenue plus longtemps (phénomène identique à celui rencontré sur l'A330).

61	RAPPORT DE L'ETUDE D'OPTIMISATION BRUIT AEROPORT D'ORLY	NAV.B.TEC.18.0088
	DEPARTS PISTES 08 ET 24	4 TH FEB 2019

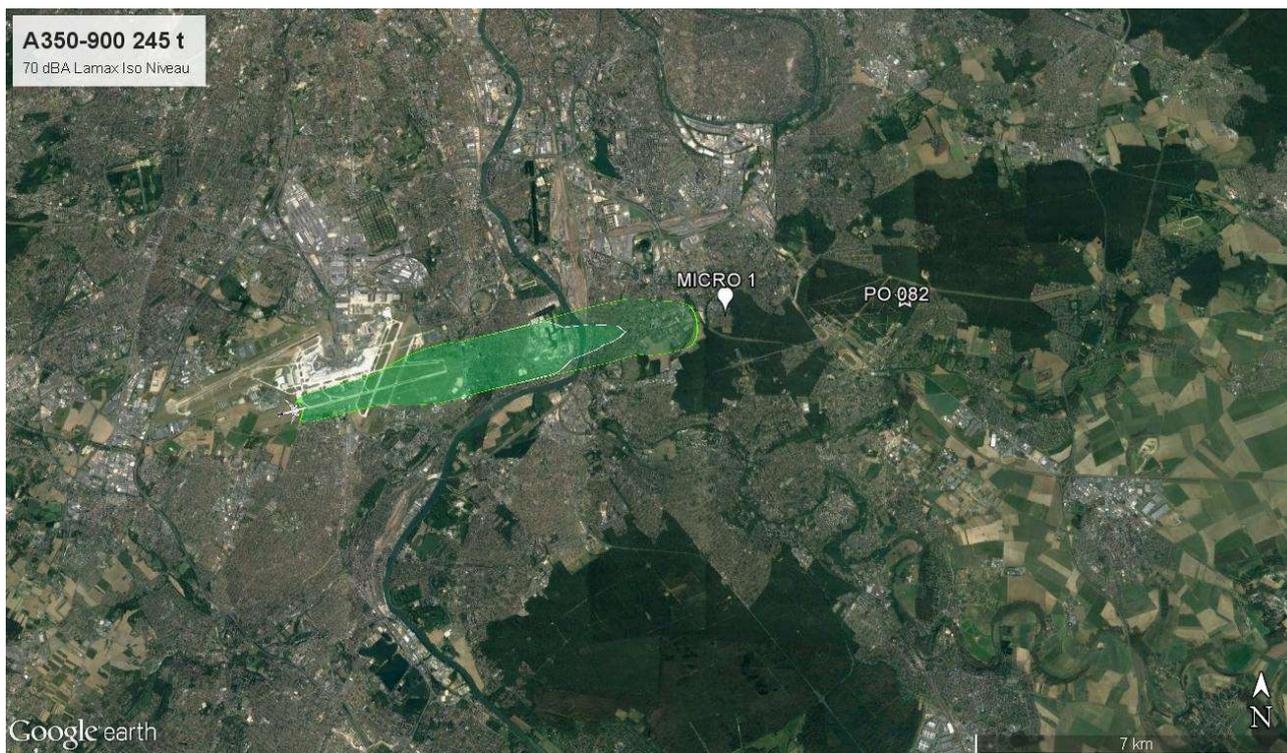


Figure 34 Minimum bruit micro 1 iso contour 75dB

L'iso contour à 75dB illustre la contrepartie de la réduction de bruit au micro 1 avec une augmentation du bruit en amont de ce point qui se traduit par une empreinte sonore plus conséquente (contour vert) comparé à la procédure de référence (contour blanc).

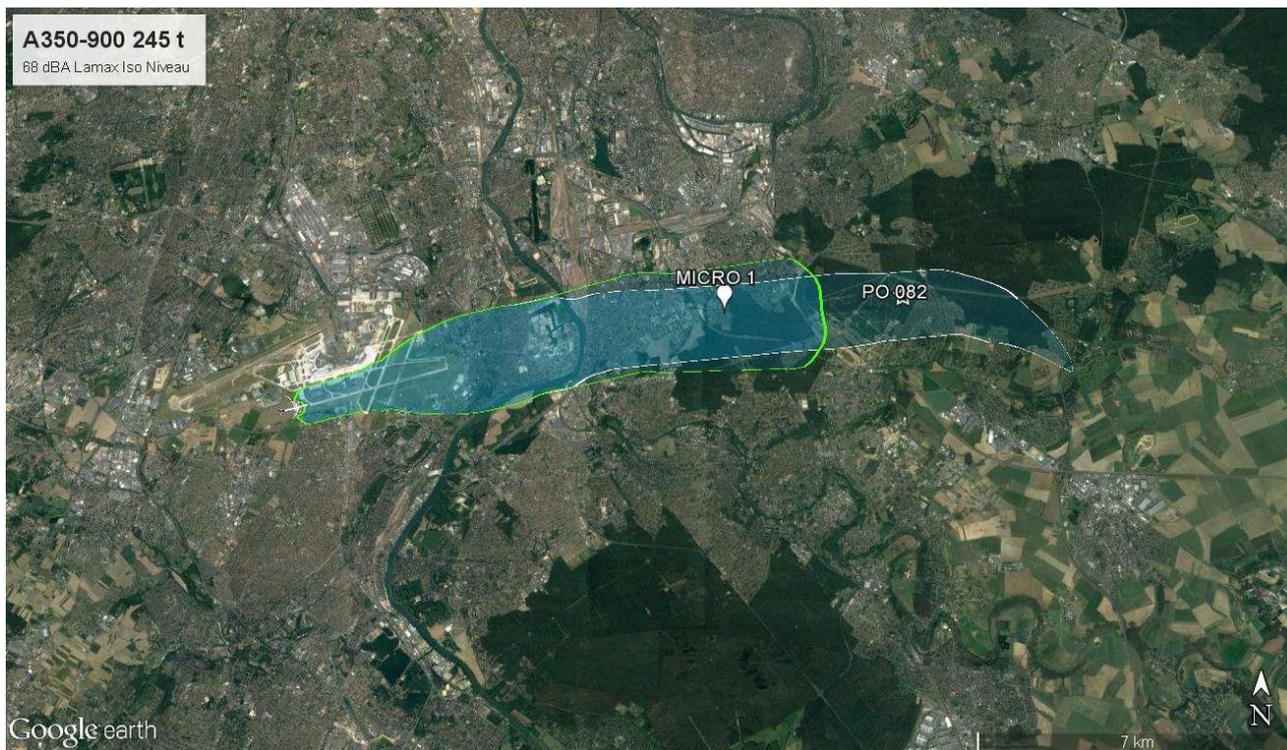


Figure 35 Minimum bruit micro 2 iso contour 68dB

La solution optimisée pour réduire le bruit au micro 2 présente une empreinte sonore fortement réduite (contour vert) par rapport celle de la procédure de référence (contour blanc). Une nouvelle fois la contrepartie d'un élargissement de cette empreinte en amont du micro concerné est également visible.

63	RAPPORT DE L'ETUDE D'OPTIMISATION BRUIT AEROPORT D'ORLY	NAV.B.TEC.18.0088
	DEPARTS PISTES 08 ET 24	4 TH FEB 2019

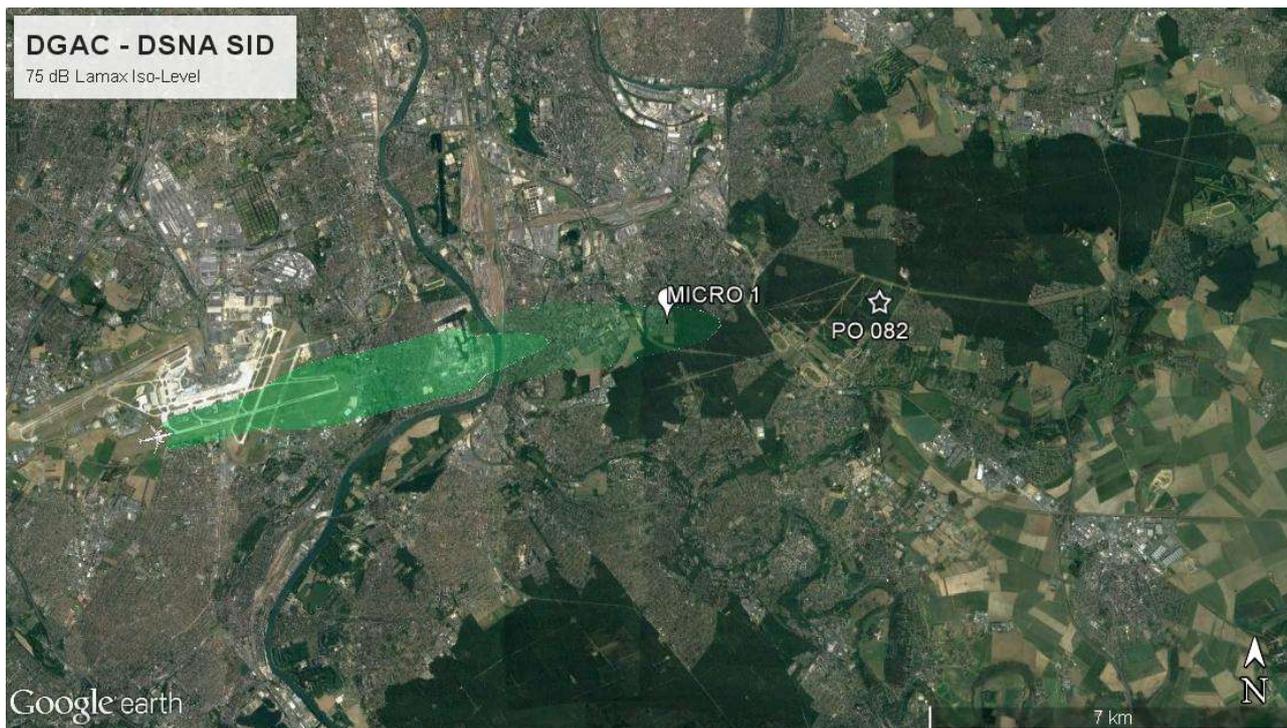


Figure 36 Minimum bruit micro 2 iso contour 75dB

La contrepartie de la réduction de bruit au micro 2 est également parfaitement visible avec cette augmentation de l’empreinte sonore à 75dB qui vient englober le micro 1 (contour vert) contrairement à la procédure de référence don l’empreinte sonore (contour blanc) est nettement plus petite.

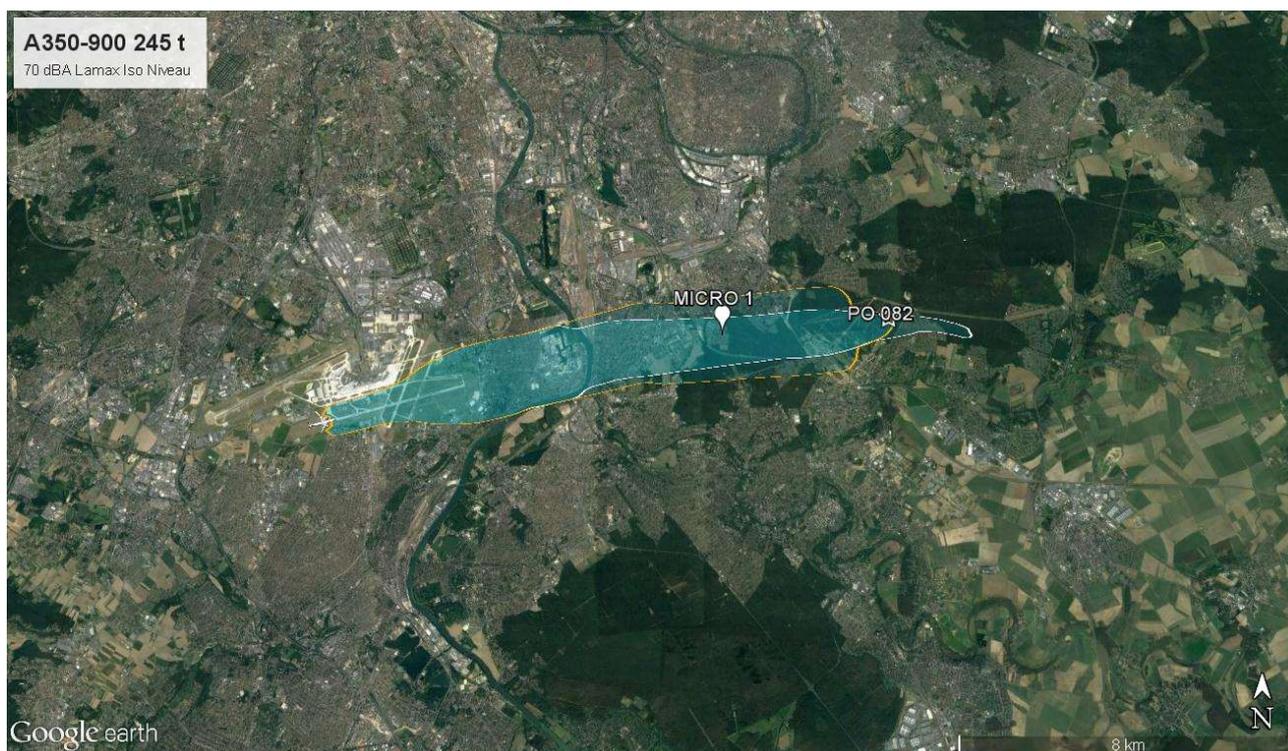


Figure 37 Minimum bruit Iso contour 70dB

L’empreinte sonore de la solution fournissant une consommation de carburant minimale (contour jaune) illustre une nouvelle fois le compromis bruit avec effectivement une réduction du niveau à partir du micro 2 (longueur de l’iso contour réduite) mais une augmentation de la largeur de l’empreinte en amont de micro.

65	RAPPORT DE L'ETUDE D'OPTIMISATION BRUIT AEROPORT D'ORLY	NAV.B.TEC.18.0088
	DEPARTS PISTES 08 ET 24	4 TH FEB 2019

4.2.D. Synthèse

Le principe d'optimisation multicritère bruit et consommation de carburant nous a permis d'identifier pour les trois types avions concernés et dans les conditions opérationnelles associées des solutions optimales de profils verticaux permettant de réduire ces objectifs.

- A320

Les solutions optimales identifiées permettent d'atteindre des gains jusqu'à 3dB au micro 1. L'optimisation bruit au micro 2 permet d'atteindre jusqu'à presque 2dB de réduction tout en conservant une réduction au premier micro notable de plus de 2dB.

Dans ce cas particulier de l'A320 (masse au décollage) il est à noter que la poussée de décollage est très proche de la poussée de montée ce qui réduit la réduction du niveau de bruit uniquement à l'altitude d'accélération et permet également de ne pas observer de dégradation de bruit en amont des zones d'optimisation de bruit.

Il faut également noter que dans ce cas les objectifs consommation et bruit sont antagonistes puisque le meilleur profile vertical pour le Fuel (-35kg de réduction de consommation carburant) entraîne une augmentation notable du bruit au niveau du premier micro (plus de 5 dB).

- A330

Les résultats A330 pour ces conditions opérationnelles sont très intéressants car ils permettent de proposer des solutions de profils verticaux favorisant à la fois une réduction de bruit sur les points visés accompagnée d'une réduction de la consommation de carburant.

L'optimisation du profil vertical pour une réduction de bruit au micro 1 offre un gain modeste (<1dB) avec une dégradation sur les micros suivants.

La solution de bruit minimum sur les micros 2 et 3 permet d'atteindre une réduction du niveau de bruit sur les deux micros proches des -2.5dB, la contrepartie est une forte augmentation sur le premier micro (proche de +9dB).

Contrairement au cas précédent l'A330 illustre parfaitement la contrepartie qui existe à réduire le bruit sur une zone qui se traduit généralement par une augmentation sur une autre localisation (dans notre cas situé en amont des micros où se produit la réduction de bruit).

La solution présentant un minimum de consommation de carburant permet d'atteindre une réduction de la consommation de -136kg, celle-ci s'accompagne également d'une réduction de bruit sur les micros 2 et 3. Une nouvelle fois la

66	RAPPORT DE L'ETUDE D'OPTIMISATION BRUIT AEROPORT D'ORLY	NAV.B.TEC.18.0088
	DEPARTS PISTES 08 ET 24	4 TH FEB 2019

contrepartie d'une augmentation du bruit plus proche de la piste (micro 1 et en amont) est observée.

La pertinence de travailler sur des fronts d'optimisation complets se fait jour ici car nous sommes en mesure d'identifier des solutions intermédiaires qui, ne visant pas les réductions maximales sur les deux objectifs, permettent d'identifier un profil vertical réduisant le bruit sur les micros 2 et 3 sans dégrader le bruit en amont, et tout en fournissant une réduction de la consommation de carburant.

- A350

Les paramètres supplémentaires gérés par l'A350 dans la définition du profil vertical permettent d'atteindre respectivement des réductions de bruit au-delà des -2dB sur le micro 1 et des -4dB sur le micro 2.

Le compromis sur la zone de réduction de bruit reste valable puisqu'une optimisation sur une zone (un micro) aura comme potentielle conséquence de dégrader le bruit sur une autre zone.

Les solutions optimales explorées ont une nouvelle fois l'avantage de proposer une réduction systématique de la consommation de carburant. Egalement le profil vertical offrant la meilleure réduction de consommation carburant (-96kg) présente le désavantage d'impacter de manière négative le niveau de bruit au micro 1 et en amont (au-delà des +7dB).

Afin de compléter les analyses d'impact bruit au-delà des résultats ponctuels aux micros et des empreintes sonores, les profils de bruit sous trace (évolution du niveau de bruit en LA_{max} en fonction de la distance parcourue au sol) sont présentés pour les différents types avions en annexes 6.3.B, 6.3.D, 6.3.H

4.3. Résultats : Départs piste 24

4.3.A. A320

Les résultats d'optimisations sur A320 sont présentés par comparaison au cas de référence, calculé avec $ZP_{red} = 1500Ft$ et $ZP_{accel} = 3000Ft$.

Résultats Micro 1 :

Le graphique suivant présente le front de Pareto obtenu suite à l'optimisation sur le micro 1 :

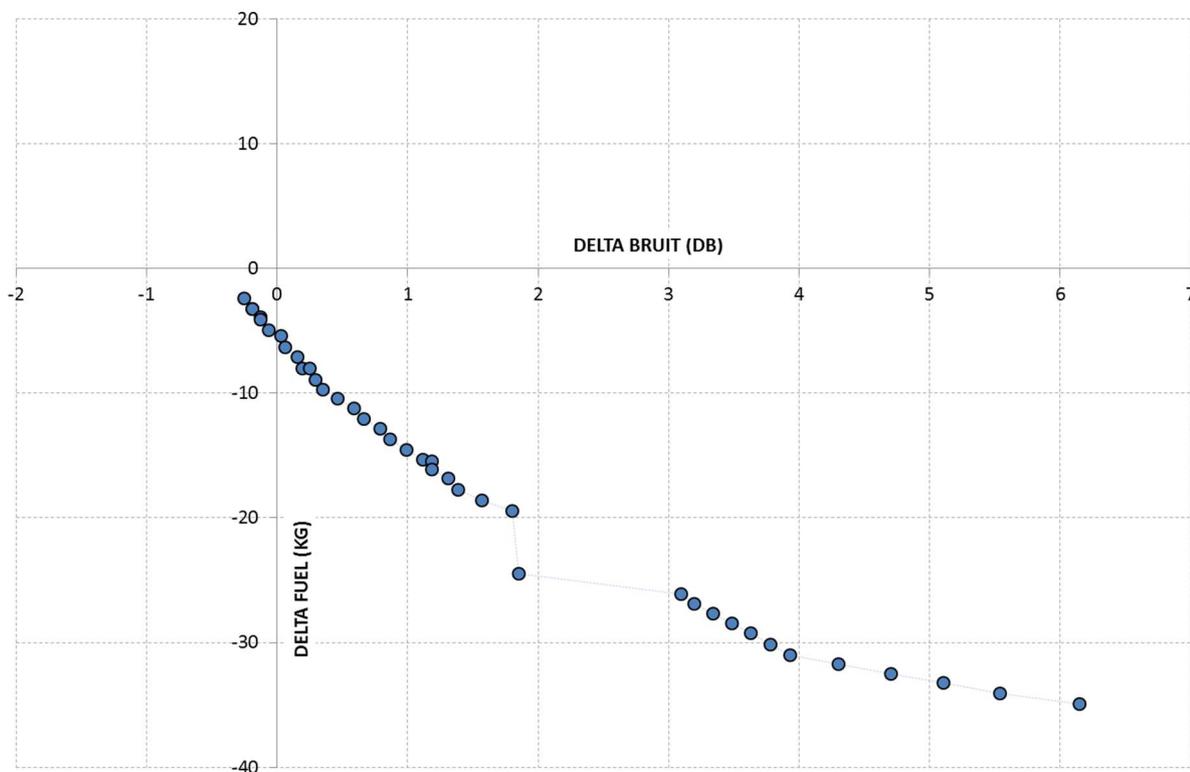


Figure 38 A320 Front Pareto Fuel vs Bruit

Ce graphique indique que la trajectoire de référence n'est pas optimale puisqu'il est possible d'avoir un gain en fuel ou/et en bruit sur tous les points du front de Pareto. Cependant, la trajectoire de référence est plutôt proche du front de Pareto ce qui amène un gain plutôt faible en bruit, -0.3dB (associé à -2kg en fuel). Le gain fuel peut atteindre -35kg en fuel (associé à +6dB).

Les solutions associées (couple ZP_{red} & ZP_{accel}) dépendent essentiellement de l'altitude d'accélération car l'évolution du niveau de poussée entraînée par le passage à l'altitude de réduction est très faible. Le niveau Flex du décollage est très proche du niveau Max Climb (mis en évidence sur le cas de référence en annexe 12).

Les solutions associées aux points du front de Pareto se réduisent donc à l'altitude d'accélération, présentée sur le graphique suivant en fonction du delta bruit :

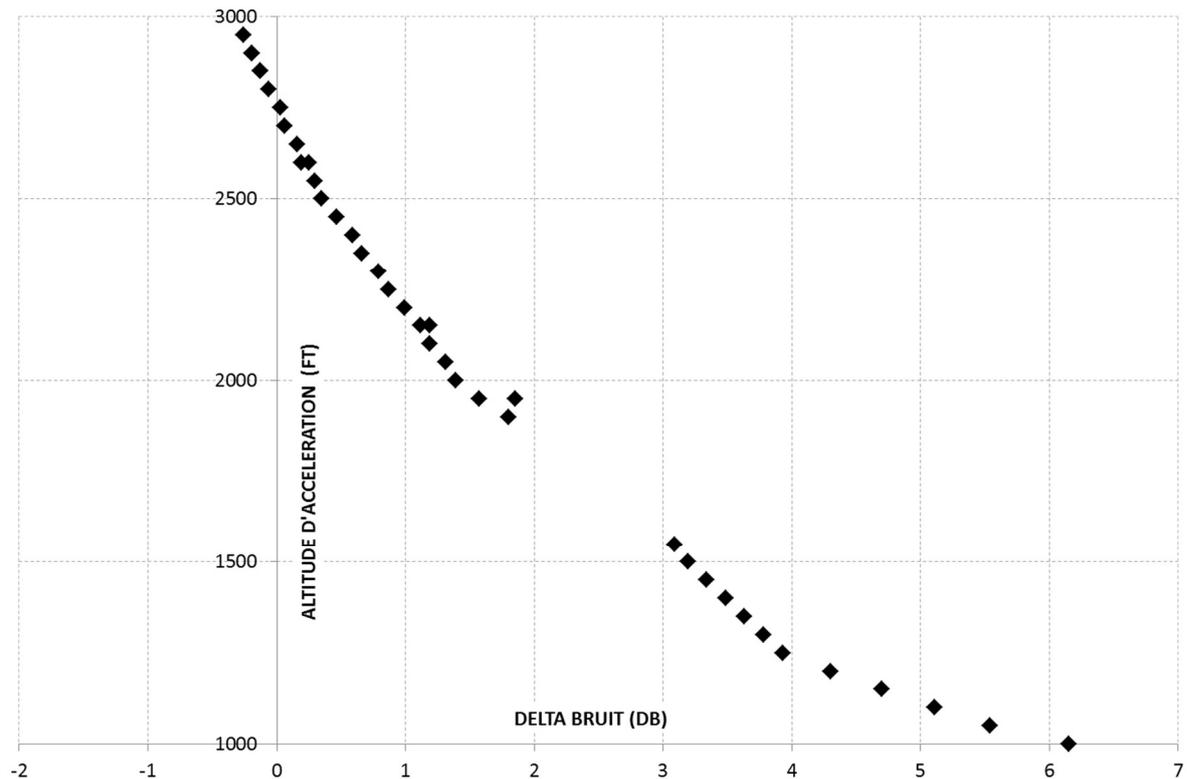


Figure 39 A320 Front Pareto Altitude Acc vs Bruit

L'évolution de l'altitude d'accélération en fonction du delta bruit n'est pas continue. Un premier range allant de 2950Ft à 1900Ft permet au mieux d'avoir un niveau de bruit très proche de la solution de référence (altitude d'accélération = 3000Ft). Le range d'altitude compris entre 1550Ft et 1000Ft permet de maximiser le gain fuel.

Résultats Micro 2 :

Le graphique suivant présente le front de Pareto obtenu suite à l'optimisation sur le micro 2 :

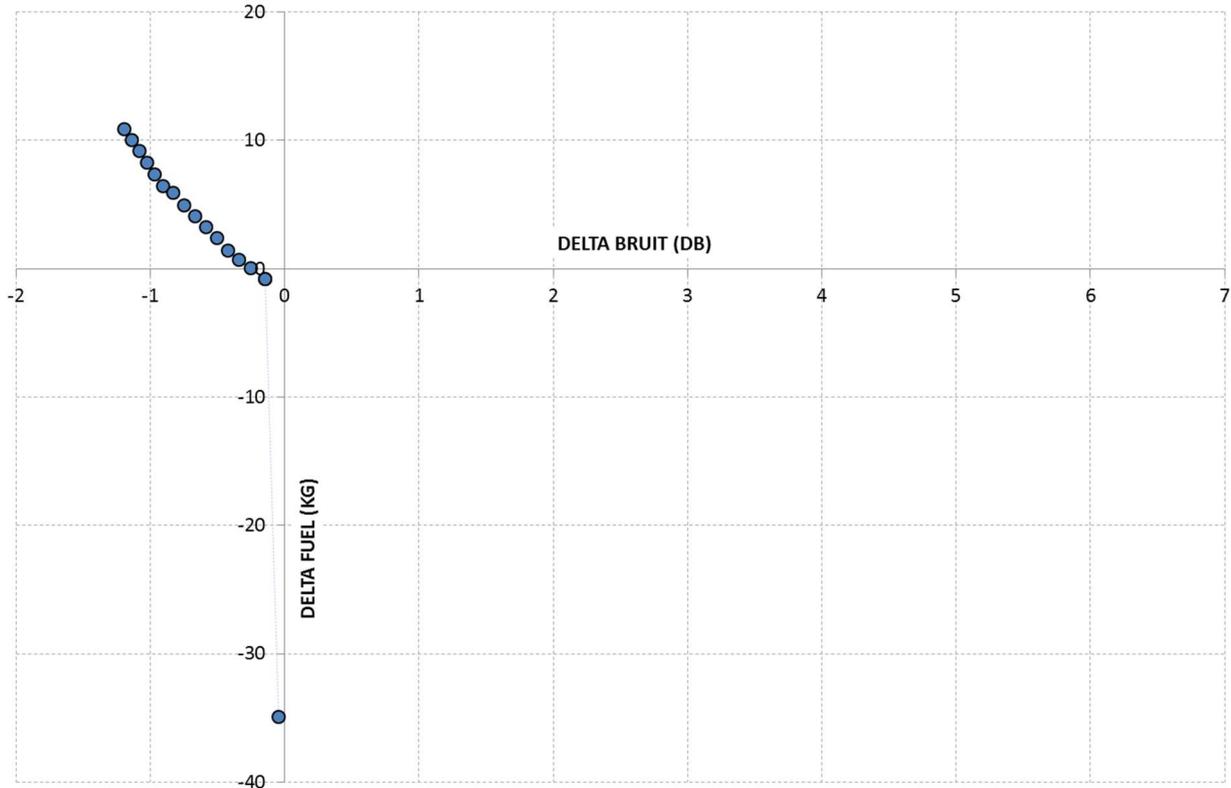


Figure 40 A320 Front Pareto Fuel vs Bruit

La trajectoire de référence apparaît comme très proche d'une solution optimale (le 0 peut être considéré sur le front de Pareto). Le gain en bruit peut atteindre -1.2dB (associé à +11kg). Le gain en fuel peut atteindre -35kg avec l'intérêt de ne pas augmenter le niveau de bruit par rapport à la trajectoire de référence.

Comme pour le micro 1, les solutions associées (couple ZP_{red} & ZP_{accel}) dépendent essentiellement de l'altitude d'accélération car l'évolution du niveau de poussée entraînée par le passage à l'altitude de réduction est très faible. Le niveau Flex du décollage est très proche du niveau Max Climb (mis en évidence sur le cas de référence en annexe 12).

Les solutions associées aux points du front de Pareto se réduisent donc à l'altitude d'accélération, présentée sur le graphique suivant en fonction du delta bruit :

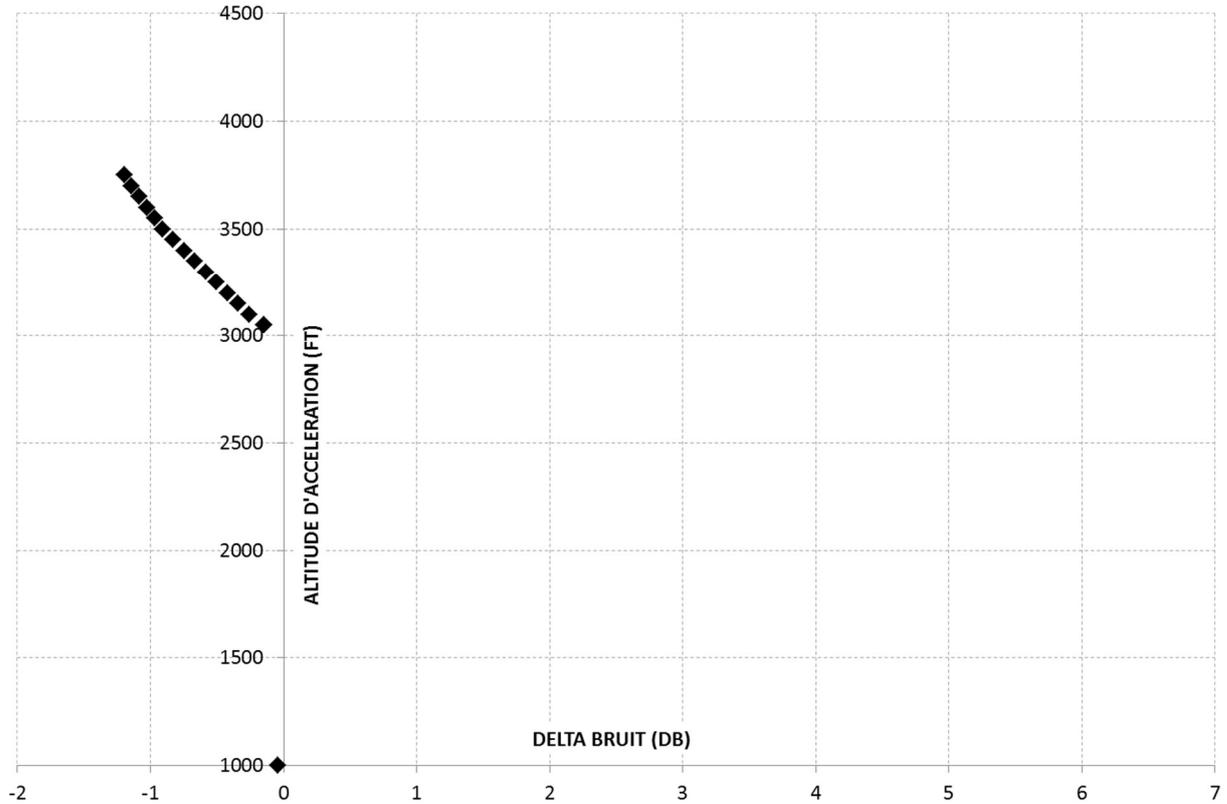


Figure 41 A320 Front Pareto Altitude Acc vs Bruit

Les solutions optimales obtenues sont associées à une évolution continue de l'altitude d'accélération entre 3050Ft et 3750Ft. Le point minimum fuel apparaît isolé avec une altitude d'accélération de 1000Ft.

Résultats combinés :

Pour compléter les résultats présentés sur chacun des micros, les solutions min bruit et min fuel ont été complétées par un calcul du delta bruit sur le micro non utilisé pour l'optimisation. Par exemple, pour le cas minimum bruit obtenu sur le micro 1, le delta bruit sur le micro 2 est calculé.

Le tableau suivant présente donc le delta bruit micro 1, le delta bruit micro 2 et le delta fuel pour ces solutions particulières :

Nom du cas	ZPaccel.	Delta Bruit Micro 1	Delta Bruit Micro 2	Delta Fuel
Min Bruit Micro 1	2950 FT	-0.3 dB	+0.4 dB	-2 kg
Min Bruit Micro 2	3750 FT	0 dB	-1.2 dB	+11 kg
Min Fuel	1000 FT	+6.1 dB	0.0 dB	- 35 kg

Pour chacune des solutions présentées dans ce tableau, la trajectoire a été tracée et comparée au cas de référence en annexe 12.

Empreintes sonores

L'utilisation des empreintes sonores permet de compléter la vision de l'impact sonore au sol des différents profils de trajectoires optimisées.

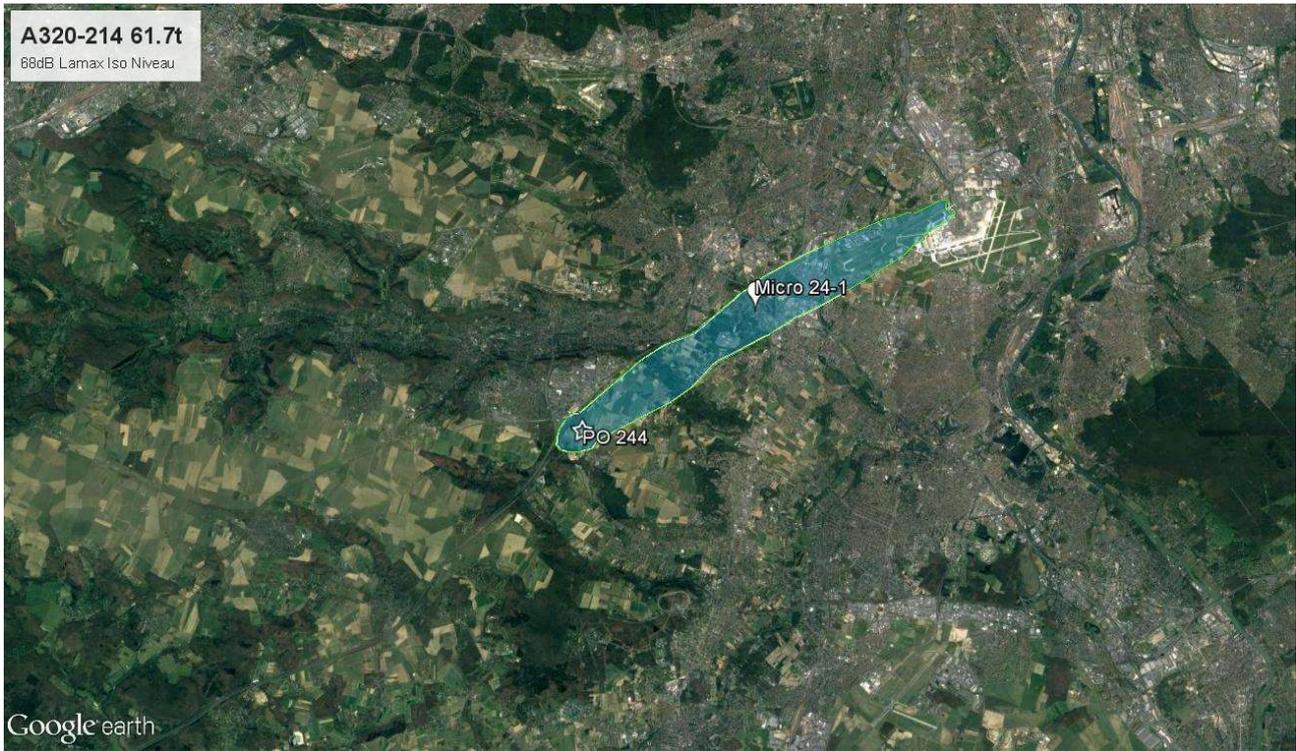


Figure 42 Minimum noise micro 1 Iso contour 68dB



Figure 43 Minimum bruit micro 2 iso contour 68dB

73	RAPPORT DE L'ETUDE D'OPTIMISATION BRUIT AEROPORT D'ORLY	NAVB.TEC.18.0088
	DEPARTS PISTES 08 ET 24	4 TH FEB 2019

La solution minimum bruit sur le micro 1 est très proche de la solution de référence, ce qui se traduit par des empreintes sonores respectives qui se chevauchent quasiment (contours blanc et vert superposés sur la figure 43). Cette constatation est valable pour les différentes valeurs d'iso contour.

Le gain plus notable en bruit sur le micro 2 (PO244) permet de réduire nettement l'empreinte sonore à 68dB avec une réduction de surface visible (contour vert) comparé à la procédure de référence (contour blanc). Il est à noter, tout comme pour la piste 08 que les solutions optimales en bruit sur les deux micros ne dégradent pas le bruit produit en amont de ces micros. Cette situation est toujours liée à la poussée de décollage qui est proche de la poussée de monté (pour la masse au décollage de l'A320 dans notre cas d'étude).

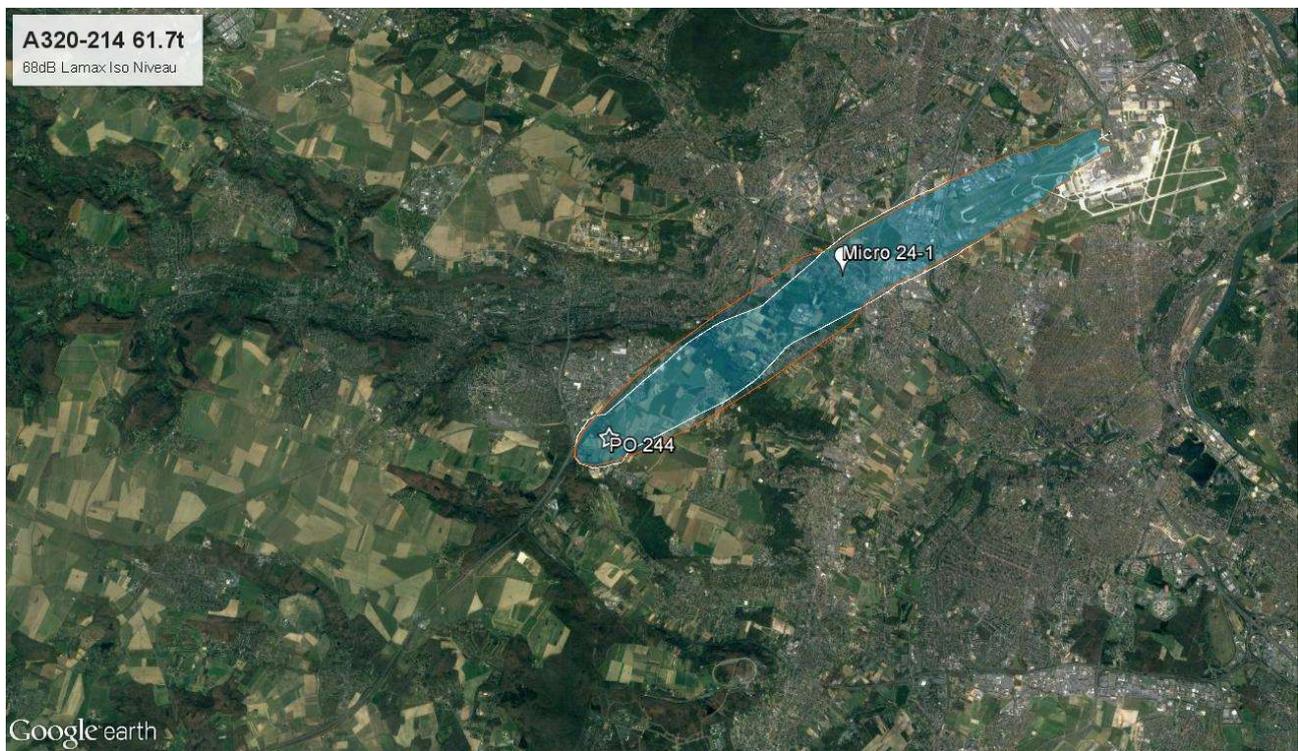


Figure 44 Minimum Fuel Iso contour 68dB

La solution fournissant la meilleure réduction de consommation carburant (-35kg) apporte une dégradation du niveau de bruit qui s'observe avec un élargissement de l'iso contour à 68dB (contour orange) entre les deux positions micro comparée à la procédure de référence (contour blanc).

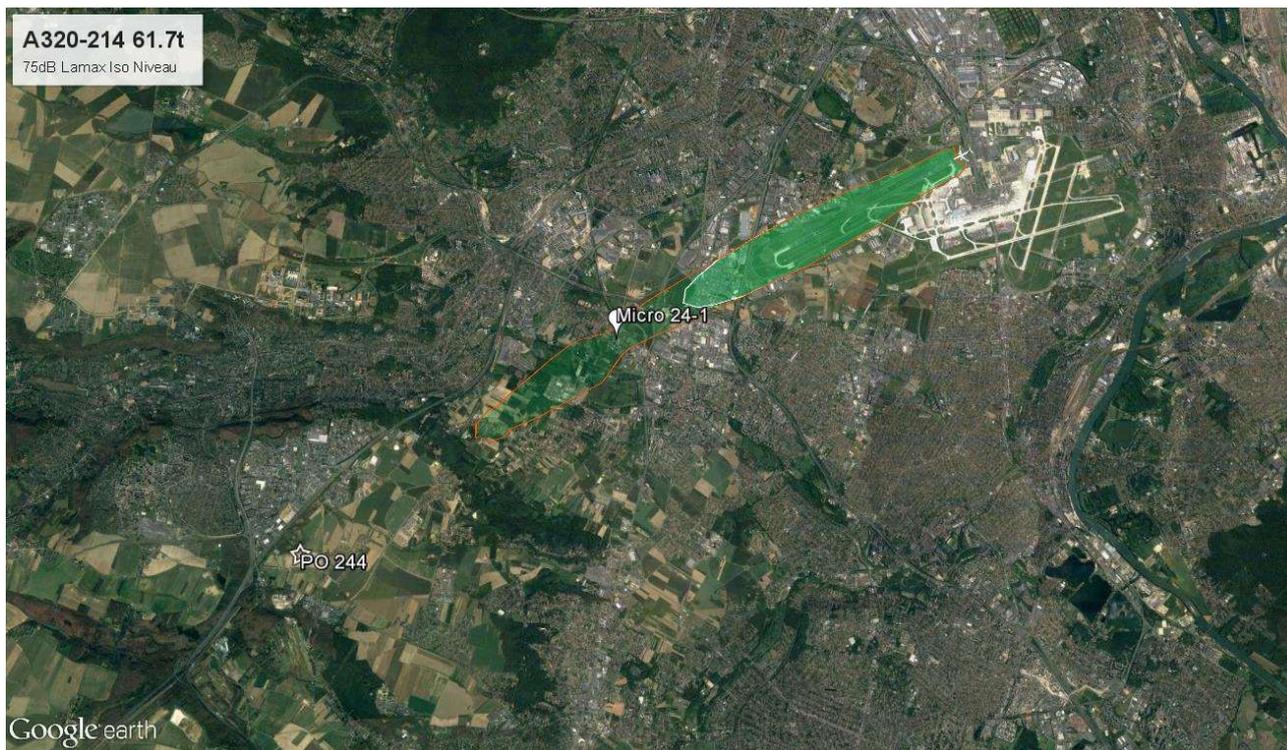


Figure 45 Minimum Fuel iso contour 75dB

Le compromis Fuel-Bruit est clairement illustré avec cette empreinte sonore à 75dB qui permet d'observer une nette augmentation de l'empreinte pour la solution minimum Fuel (contour orange) comparé à la solution de référence (contour blanc).

4.3.B. A330

Les résultats d'optimisations sur A330 sont présentés par comparaison au cas de référence, calculé avec $ZP_{red} = 1500Ft$ et $ZP_{accel} = 2800Ft$ (limité par la contrainte en vitesse à 200kt à PO 243).

Résultats Micro 1 :

Le graphique suivant présente le front de Pareto obtenu suite à l'optimisation sur le micro 1 :

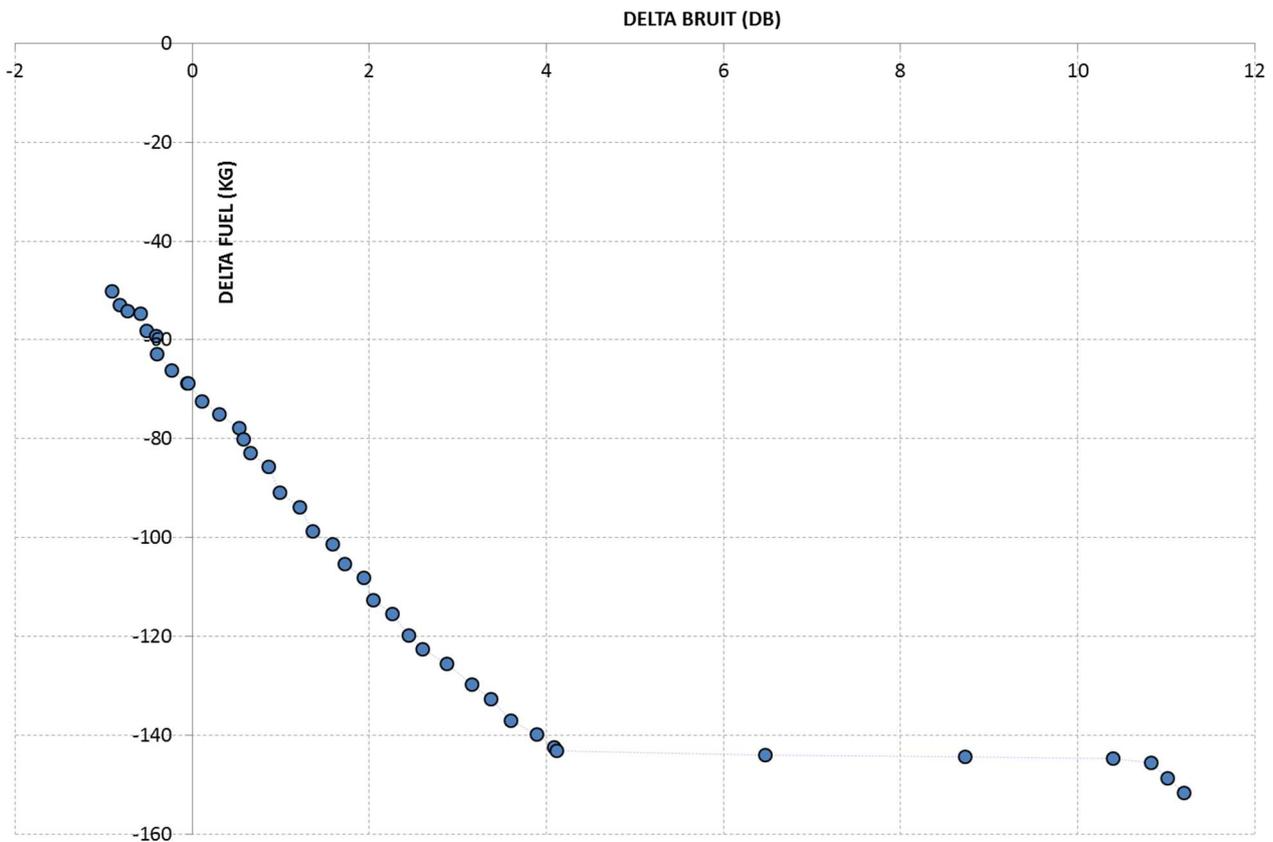


Figure 46 A330 Front Pareto Fuel vs Bruit

Ce graphique indique que la trajectoire de référence n'est pas optimale puisqu'il est possible d'avoir un gain en fuel ou/et en bruit sur tous les points du front de Pareto. Ces gains peuvent atteindre -0.9dB en bruit (associé à -51kg en fuel) et -152kg en fuel (associé à +11.2dB).

Le graphique suivant présente les solutions associées à chaque point du front de Pareto, avec l'altitude de réduction et l'altitude d'accélération en fonction du delta bruit :

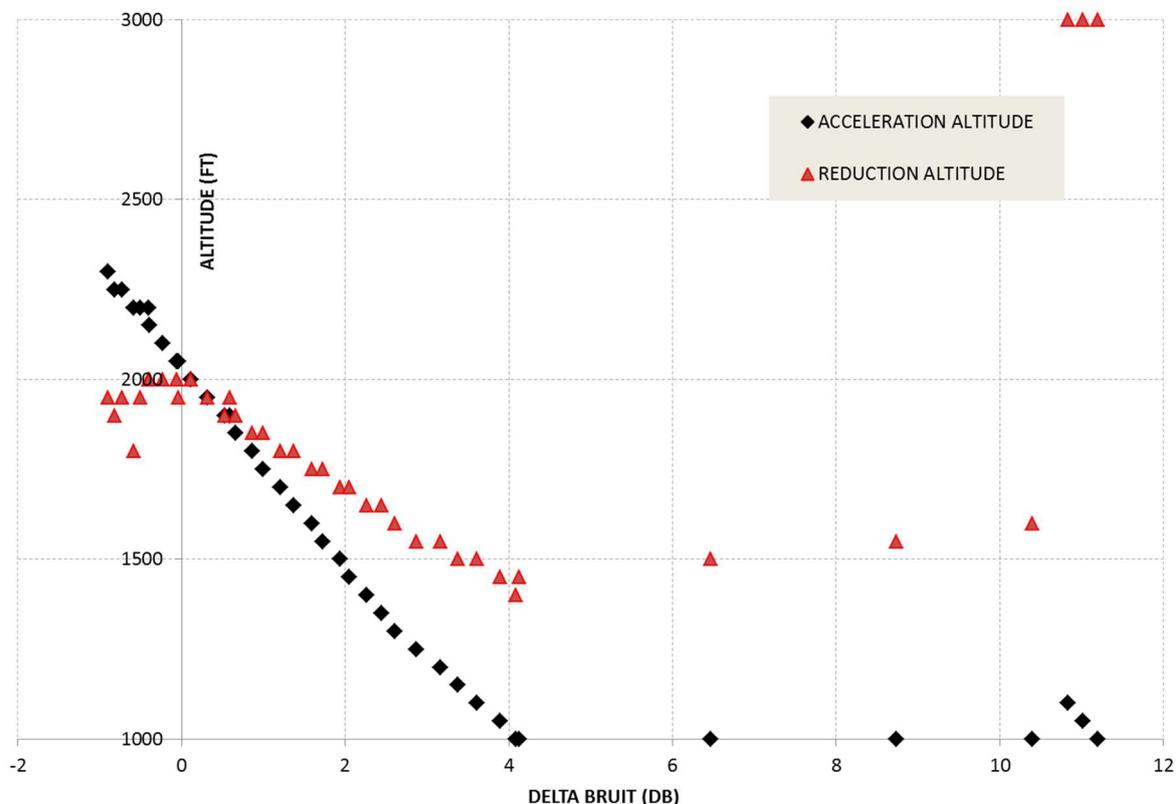


Figure 47 A330 Front Pareto Altitude Acc vs Bruit

La solution minimum bruit est obtenue pour ZPred = 1950Ft et ZPacel = 2300Ft. La solution minimum fuel est obtenue pour ZPred = 3000Ft et ZPacel = 1000Ft. A noter que la solution ZPred = 1450Ft et ZPacel = 1000Ft permet d'avoir un gain fuel équivalent au minimum fuel (-143kg) tout en limitant la dégradation du delta bruit (+4.1dB à comparer au +11.2dB).

Résultats Micro 2 :

Les calculs d'optimisations sur le micro 2 n'ont générés que deux solutions optimales qui sont présentées dans le tableau suivant :

ZPred	ZPaccel	Delta Bruit	Delta Fuel
2900 Ft	2600 Ft	-1.1 dB	-50 kg
3000 Ft	1000 Ft	-0.9 dB	-152 kg

L'obtention d'un nombre limité de solutions optimales s'explique notamment par le fait que la contrainte de vitesse à 200kt à PO 243, limitant ainsi l'altitude d'accélération maximum à 2800Ft, est très contraignante pour cet avion sur ce micro.

Résultats combinés :

Pour compléter les résultats présentés sur chacun des micros, les solutions min bruit et min fuel ont été complétées par un calcul du delta bruit sur le micro non utilisé pour l'optimisation. Par exemple, pour le cas minimum bruit obtenu sur le micro 1, le delta bruit sur le micro 2 est calculé.

Le tableau suivant présente donc le delta bruit micro 1, le delta bruit micro 2 et le delta fuel pour ces solutions particulières :

Nom du cas	ZPred.	ZPaccel.	Delta Bruit Micro 1	Delta Bruit Micro 2	Delta Fuel
Min Bruit Micro 1	1950 Ft	2300 FT	-0.9 dB	+0.6 dB	-50 kg
Min Bruit Micro 2	2900 Ft	2600 FT	+7.7dB	-1.1 dB	-50 kg
Min Fuel	3000 Ft	1000 FT	+11.2 dB	-0.9 dB	-152 kg

Pour chacune des solutions présentées dans ce tableau, la trajectoire a été tracée et comparée au cas de référence en annexe 13.

78	RAPPORT DE L'ETUDE D'OPTIMISATION BRUIT AEROPORT D'ORLY	NAV.B.TEC.18.0088
	DEPARTS PISTES 08 ET 24	4 TH FEB 2019

Empreintes sonores :

Afin de compléter l'illustration des impacts en bruit sur les zones étudiées les figures suivantes présentent les empreintes sonores associées aux différentes solutions optimisées.

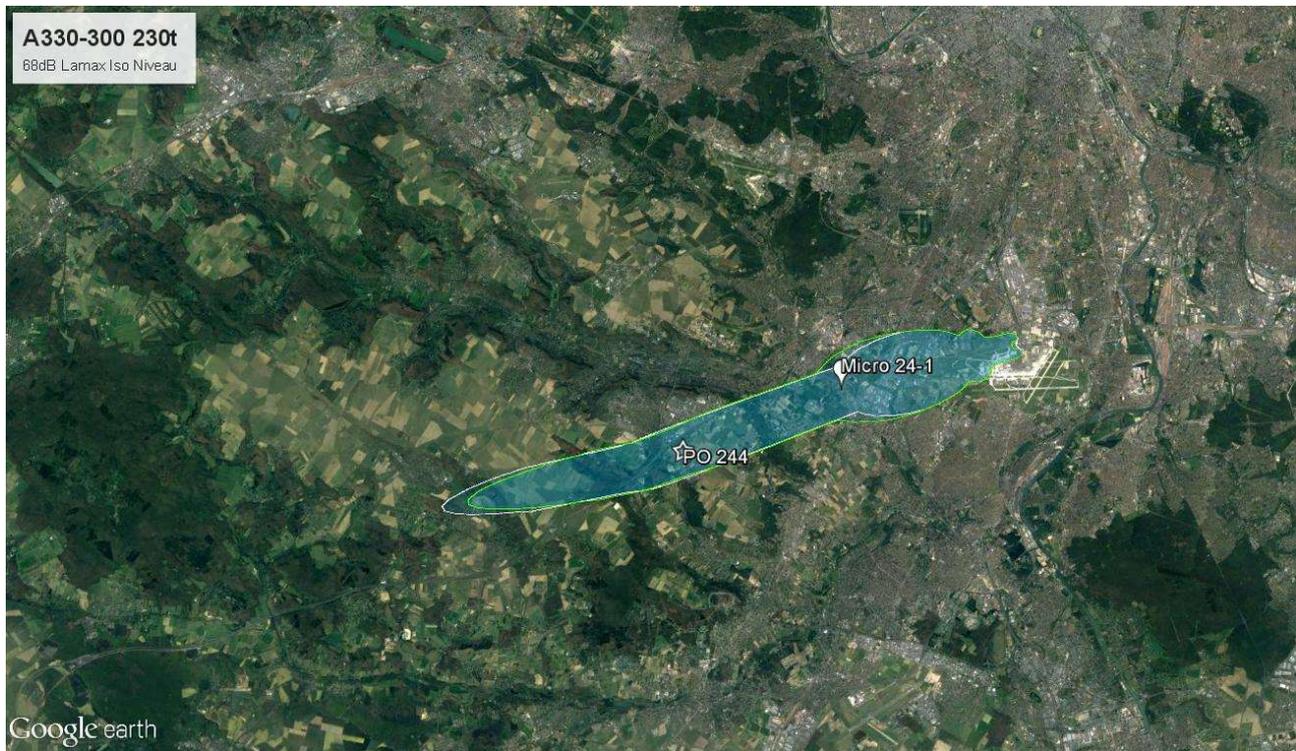


Figure 48 Minimum bruit Micro 1 iso contour 68dB

L'optimisation sur le premier micro permet d'obtenir une très légère réduction de la longueur de l'iso contour à 68dB (contour blanc) comparé à la procédure de référence (contour blanc). Cependant la réduction au premier micro est accompagnée d'une augmentation de la largeur de l'iso contour en amont de la position du micro 1, phénomène déjà observé en piste 08 et toujours liée au fait de maintenir plus longtemps la poussée de décollage.

79	RAPPORT DE L'ETUDE D'OPTIMISATION BRUIT AEROPORT D'ORLY	NAV.B.TEC.18.0088
	DEPARTS PISTES 08 ET 24	4 TH FEB 2019

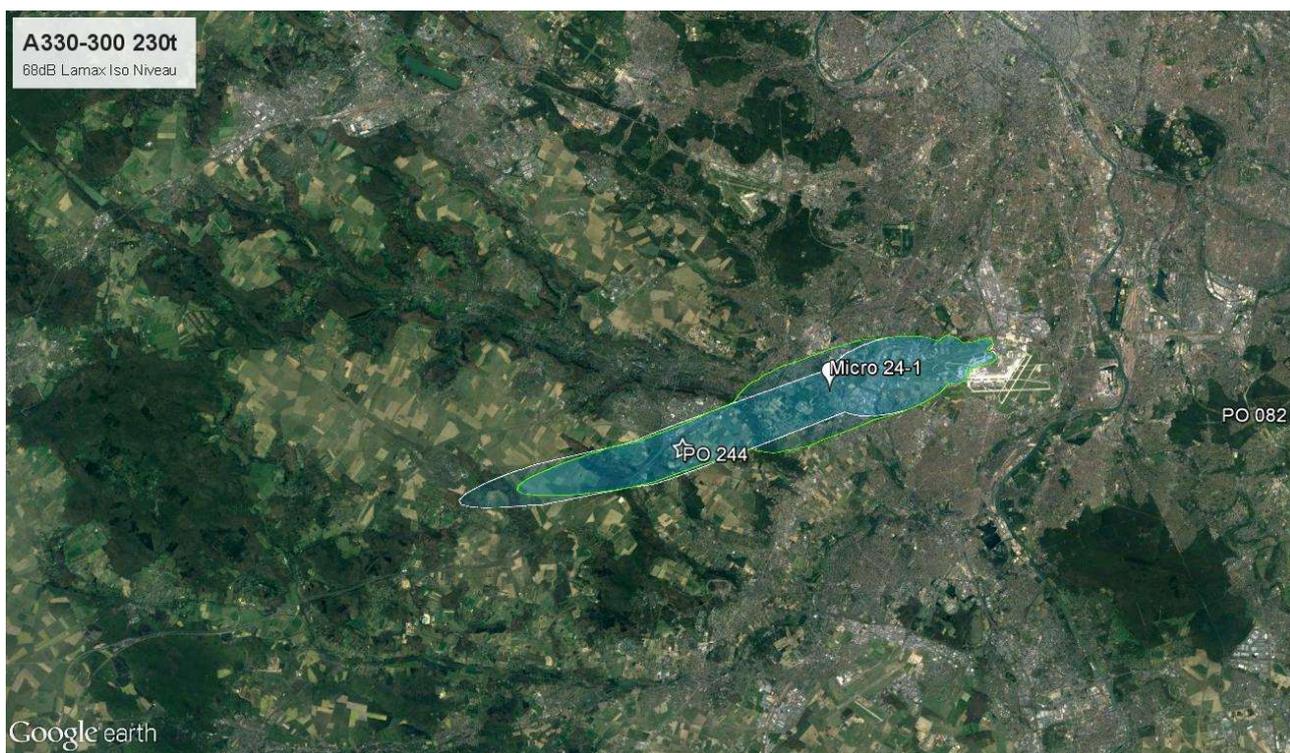


Figure 49 Minimum bruit Micro 2 iso contour 68

Le même compromis entre réduction du niveau de bruit au micro 2 et augmentation en amont de cette position peut s'observer sur la figure 49 où le contour à 68dB de la solution optimale en bruit au deuxième micro (contour vert) présente une empreinte sonore réduite en longueur par rapport à la procédure de référence (contour blanc) mais qui s'est élargie en amont.



Figure 50 Minimum Fuel iso contour 68dB

La solution minimum fuel poursuit la tendance de la réduction de bruit au micro 2 et présente une réduction de la longueur de l’empreinte (contour orange) comparé à la procédure de référence (contour blanc). Par on constate en contrepartie un accroissement de la dégradation du niveau de bruit entre la piste de la micro 2.

4.3.C. A350

Les résultats d'optimisations sur A350 sont présentés par comparaison au cas de référence, calculé avec $ZP_{red} = 1500Ft$ et $ZP_{accel} = 2800Ft$ (limité par la contrainte en vitesse à 200kt à PO 082). Le régime de montée est Auto-Derate.

Résultats Micro 1 :

Le graphique suivant présente le front de Pareto obtenu suite à l'optimisation sur le micro 1 :

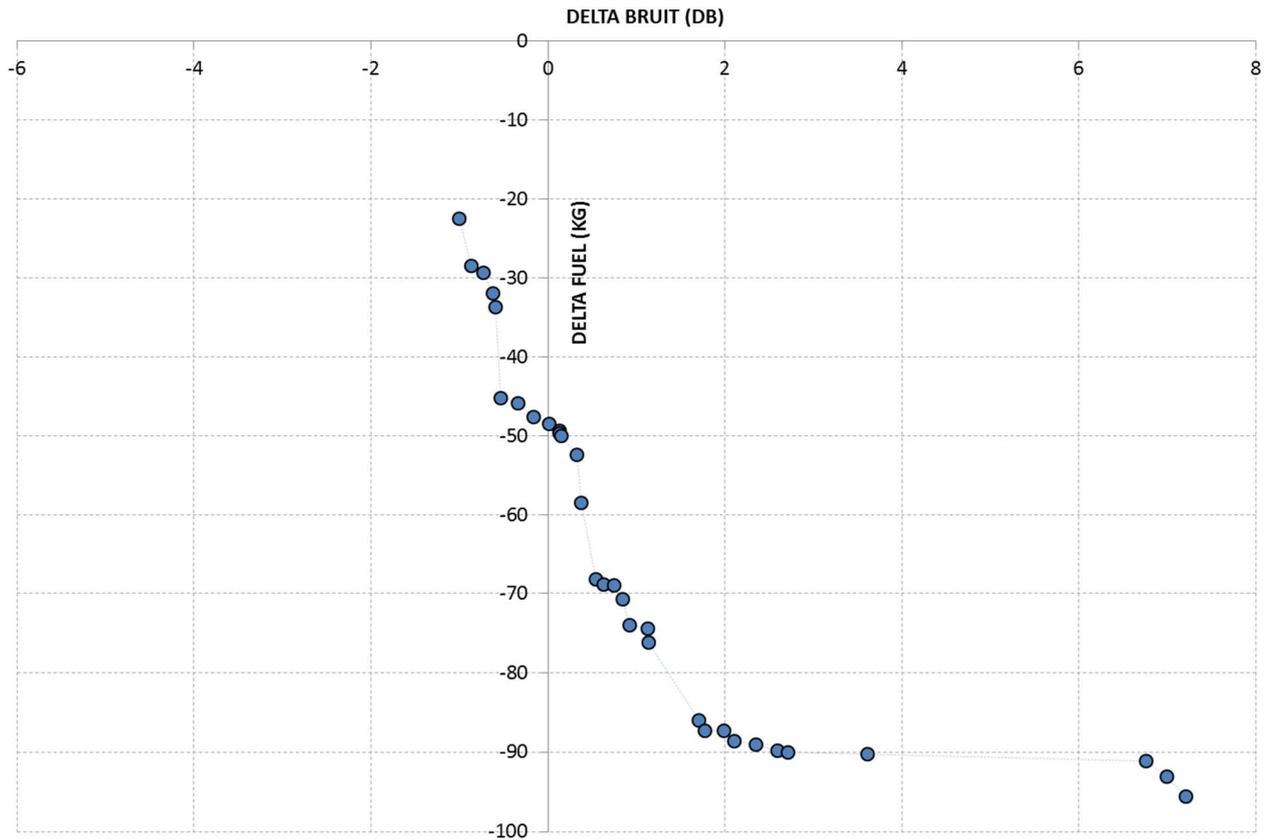


Figure 51 A350 Front Pareto Fuel vs Bruit

Ce graphique indique que la trajectoire de référence n'est pas optimale puisqu'il est possible d'avoir un gain en fuel ou/et en bruit sur tous les points du front de Pareto. Ces gains peuvent atteindre -1.0dB en bruit (associé à -23kg en fuel) et -96kg en fuel (associé à +7.2dB).

L'interprétation des solutions obtenues étant plus complexes que sur A320 et A330 (5 variables sur A350 contre 2 sur A320 / A330), celles-ci sont présentées sous forme de tableau en annexe 14. En plus des solutions minimum bruit et minimum fuel, les solutions suivantes présentent un intérêt non négligeable :

scenario	ZPred (FT)	N1 (%)	ZPaccel (FT)	Vnoise (KT)	ZPfinal (FT)	DELTA BRUIT (dB)	DELTA FUEL (KG)
6	1850	81.2	1800	235	2900	-0.5	-45.2
22	1400	80.2	1000	235	1950	1.7	-86.0

La première permet d'avoir un gain bruit de -0.5dB ainsi qu'un gain fuel de -45kg par rapport à la trajectoire de référence. La deuxième solution permet d'avoir un gain fuel très proche du minimum fuel (-86 kg par rapport à -96kg) mais en limitant la détérioration du delta bruit (+1.7dB par rapport à +7.2dB).

Résultats Micro 2 :

Le graphique suivant présente le front de Pareto obtenu suite à l'optimisation sur le micro 2 :

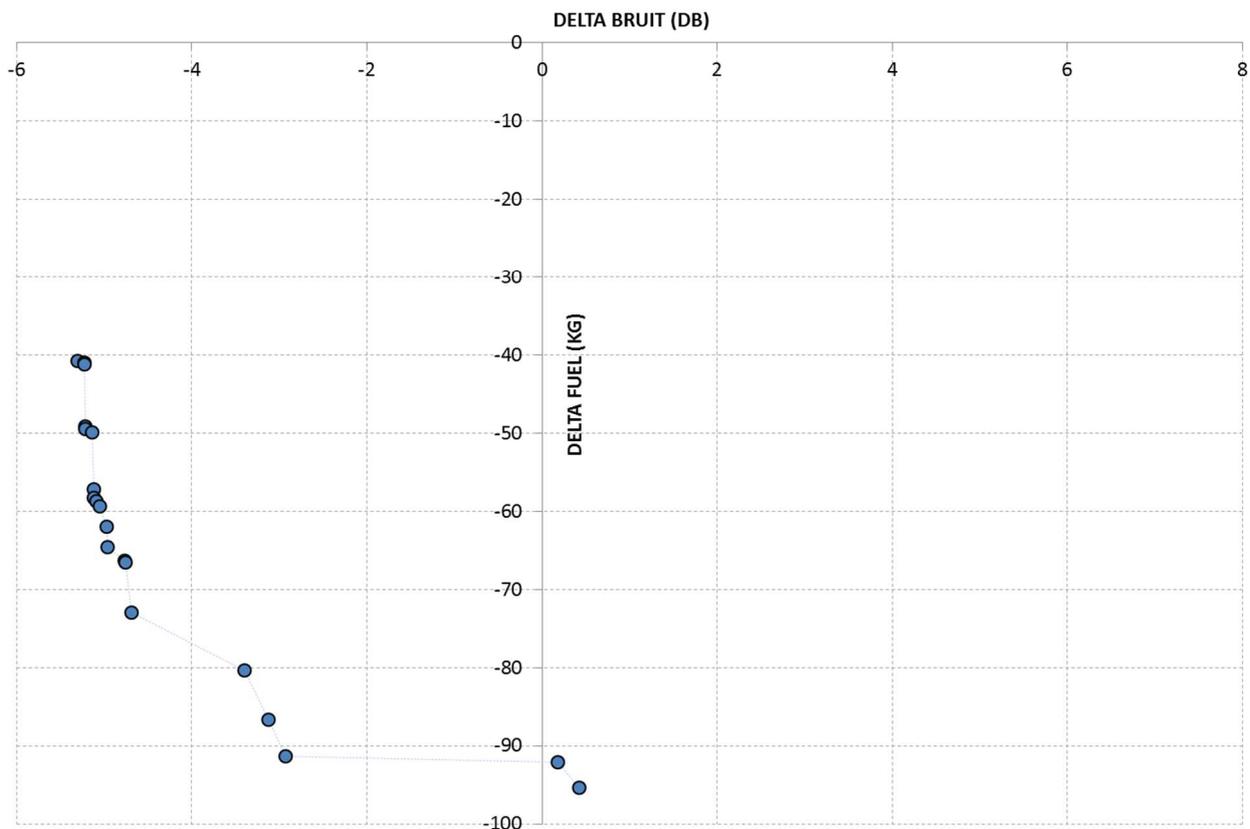


Figure 52 A350 Front Pareto Altitude Acc vs Bruit

83	RAPPORT DE L'ETUDE D'OPTIMISATION BRUIT AEROPORT D'ORLY	NAV.B.TEC.18.0088
	DEPARTS PISTES 08 ET 24	4 TH FEB 2019

Ce graphique indique que la trajectoire de référence n'est pas optimale puisqu'il est possible d'avoir un gain en bruit et en fuel sur tous les points du front de Pareto. Ces gains peuvent atteindre -5.3dB en bruit (associé à -41kg en fuel) et -96kg en fuel (associé à +0.4dB).

Comme pour le cas sur le micro 1, les solutions sont présentées en annexe 15 sous forme de tableau. En plus des solutions minimum bruit et minimum fuel, les solutions suivantes présentent un intérêt non négligeable :

scenario	Zpred (FT)	N1 (%)	Zpaccel (FT)	Vnoise (KT)	Zpfinal (FT)	DELTA BRUIT (dB)	DELTA FUEL (KG)
15	3000	79.6	1000	220	4100	-4.7	-73.0
18	3000	80.4	1000	235	3450	-2.9	-91.3

La première solution permet d'avoir un gain bruit proche du niveau minimum bruit (-4.7dB par rapport à -5.3dB) tout en ayant un gain fuel assez important (-73kg). La deuxième solution permet d'avoir un gain fuel proche du minimum fuel (-91 kg par rapport à -96kg) tout en maintenant un niveau de gain bruit intéressant (-2.9dB).

Résultats combinés :

Pour compléter les résultats présentés sur chacun des micros, les solutions min bruit et min fuel ont été complétées par un calcul du delta bruit sur le micro non utilisé pour l'optimisation. Par exemple, pour le cas minimum bruit obtenu sur le micro 1, le delta bruit sur le micro 2 est calculé.

Le tableau suivant présente donc le delta bruit micro 1, le delta bruit micro 2 et le delta fuel pour ces solutions particulières :

Nom du cas	ZPred / N1 / ZPaccel / Vnoise / ZPfinal	Delta Bruit Micro 1 / Micro 2	Delta Fuel
Min Bruit Micro 1	1900FT / 82.8% / 2300FT / 230KT / 3300FT	-1 dB / +1.1 dB	-22 kg
Min Bruit Micro 2	3000FT / 79.4% / 1000FT / 205KT / 4100FT	+7.2 dB / -5.3 dB	-41 kg
Min Fuel	3000FT / 80.4% / 1000FT / 235KT / 3050FT	+7.2 dB / +0.4 dB	-96 kg

84	RAPPORT DE L'ETUDE D'OPTIMISATION BRUIT AEROPORT D'ORLY	NAV.B.TEC.18.0088
	DEPARTS PISTES 08 ET 24	4 TH FEB 2019

Pour chacune des solutions présentées dans ce tableau, la trajectoire a été tracée et comparée au cas de référence en annexe 16.

Empreinte sonores :



Figure 53 Minimum bruit micro 1 iso contour 68dB

Les iso contours présentés ci-dessous permettent de compléter la compréhension de l'impact bruit des solutions extraites ci-dessus.

Une nouvelle fois le gain de 1dB obtenu avec la solution optimale bruit sur le micro 1 ne modifie pas radicalement les formes et surfaces des empreintes sonores (contour vert pour la solution optimale et contour blanc pour la référence). Les contreparties de légère augmentation du bruit en amont du premier micro et sur le deuxième micro sont tout de même légèrement visibles avec une légère augmentation de la longueur et en renflement plus soutenu. Ces remarques sont valables pour les différentes valeurs d'iso contours.

85	RAPPORT DE L'ETUDE D'OPTIMISATION BRUIT AEROPORT D'ORLY	NAV.B.TEC.18.0088
	DEPARTS PISTES 08 ET 24	4 TH FEB 2019



Figure 54 Minimum bruit micro 2 iso contour 68dB

L'évolution de l'empreinte sonore de la solution minimum bruit sur le micro 2 est plus spectaculaire puisque la réduction de niveau sur ce point dépasse les -5dB. On constate un arrêt franc de l'iso contour à 68dB bien avant ce micro (contour vert) comparé à la procédure de référence (contour blanc). Une fois encore la contrepartie d'une augmentation du niveau de bruit en amont de cette position est visible avec un contour qui s'est légèrement élargi.

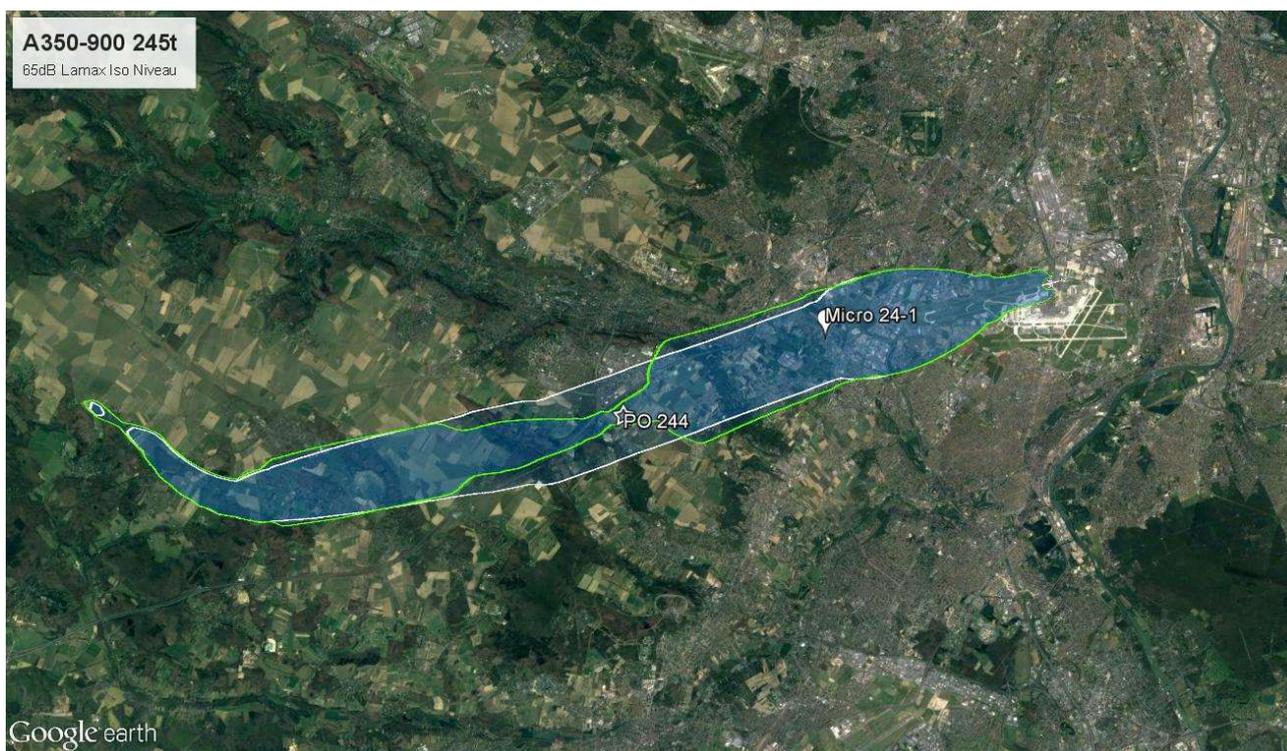


Figure 55 Minimum bruit micro 2 iso contour 65dB

La réduction du niveau de bruit est suffisamment prononcée pour qu'elle affecte l'iso contour à 65dB avec une nette réduction de sa surface autour du micro 2 (contour vert) comparé à la procédure de référence.

87	RAPPORT DE L'ETUDE D'OPTIMISATION BRUIT AEROPORT D'ORLY	NAV.B.TEC.18.0088
	DEPARTS PISTES 08 ET 24	4 TH FEB 2019



Figure 56 Minimum Fuel iso contour 68dB

La solution de consommation minimale de carburant ne déroge pas à la tendance observée dans les autres cas. En effet elle s'accompagne d'une légère réduction de l'empreinte sonore (visible sur la figure 56, contour orange) comparée à la procédure de référence (contour blanc) mais également d'une augmentation du niveau de bruit en amont de la position du micro 2.

88	RAPPORT DE L'ETUDE D'OPTIMISATION BRUIT AEROPORT D'ORLY	NAV.B.TEC.18.0088
	DEPARTS PISTES 08 ET 24	4 TH FEB 2019

4.3.D. Synthèse

Sur cette piste 24 le processus d'optimisation multicritère a permis d'identifier, pour les trois types avions concernés et les conditions opérationnelles associées, un ensemble de solutions permettant de favoriser la réduction des émissions sonores en des lieux sélectionnés et/ou les consommations de carburant associées.

- A320

Il faut remarquer que la solution optimale en bruit pour le micro 1 est très proche de la procédure de référence et quelle présente donc une réduction négligeable (moins de -0.5dB) ; les autres indicateurs sont donc par construction également proches des niveaux de référence (bruit micro 2 et consommation carburant). Le profil vertical présentant la réduction de bruit maximale au micro 2 (au-delà de -1dB) s'accompagne d'une surconsommation de carburant de +11kg.

La solution offrant la meilleure réduction de consommation de carburant -35kg s'accompagne en revanche d'une augmentation notable du bruit au premier micro (+5.6 dB), l'impact bruit étant neutre au deuxième micro (-0.6dB).

- A330

Il est possible d'atteindre quasiment -1dB de réduction sur le premier micro qui s'accompagne sur le micro 2 d'une très faible remonté du niveau de bruit (+0.6dB) ; ce profil vertical permet également d'atteindre une réduction de -50kg de fuel.

La minimalisation du bruit sur le micro 2 (-1.5dB) permet aussi d'atteindre ce même niveau de réduction de consommation fuel, mais en contrepartie s'accompagne d'une augmentation notable (Proche de +8dB) du niveau de bruit sur le micro 1.

Sans surprise, la solution optimale pour la réduction de consommation carburant qui culmine à -152kg dégrade fortement le bruit proche des pistes (au-delà de +11dB).

89	RAPPORT DE L'ETUDE D'OPTIMISATION BRUIT AEROPORT D'ORLY	NAV.B.TEC.18.0088
	DEPARTS PISTES 08 ET 24	4 TH FEB 2019

- A350

Le profil optimal pour la réduction du bruit sur le micro 1 permet d'atteindre une réduction de -1dB, balancée par une augmentation équivalente sur le micro 2. Il est à noter que cette solution s'accompagne également d'une réduction de la consommation carburant de -22kg.

L'utilisation des paramètres complets pour définir le profil vertical permet d'obtenir une réduction significative (au-delà de -5dB) sur le deuxième micro avec également une réduction de la consommation fuel au-delà de -40kg. En contrepartie l'augmentation de bruit sur le premier micro devient significative (au-delà des +7dB).

Enfin la solution de profil vertical présentant la réduction de consommation de carburant maximale permet d'atteindre l'objectif de -96kg de fuel. Une nouvelle fois le compromis se trouve dans une dégradation des niveaux de bruit, essentiellement proche piste (au-delà de +7dB).

Afin de compléter les analyses d'impact bruit au-delà des résultats ponctuels aux micros et des empreintes sonores, les profils de bruit sous trace (évolution du niveau de bruit en LAmax en fonction de la distance parcourue au sol) sont présentés pour les différents types avions en annexes 6.4.B, 6.4.D, 6.4.H

5. CONCLUSION

CHAPTER 05

NAVBLUE

AN AIRBUS COMPANY

91	RAPPORT DE L'ETUDE D'OPTIMISATION BRUIT AEROPORT D'ORLY	NAV.B.TEC.18.0088
	DEPARTS PISTES 08 ET 24	4 TH FEB 2019

L'étude présente a été menée dans le but de proposer des profils verticaux au départ d'ORLY visant à optimiser les impacts bruit au sol ainsi que la consommation de carburant.

Ces deux objectifs (bruit et fuel) ont donc été identifiés comme objectifs d'un processus d'optimisation bi-critères qui permet de cibler un gain maximum sur un critère en particulier ou de rechercher un compromis entre le bruit et le fuel.

L'utilisation d'outils de modélisation Airbus permet, aussi bien sur un aspect performances avion que d'un point de vue impact bruit au sol, de bénéficier du meilleur état de l'art disponible sur les avions de la flotte Airbus tout en étant capable d'intégrer les contraintes représentatives d'un contexte opérationnel.

La contrepartie est que ces moyens ne sont pas applicables hors flotte Airbus.

Les résultats d'optimisation ont montré qu'il était possible d'obtenir des gains en bruit notables pour certains micros (jusqu'à -3dB pour l'A320 ; au-delà de 2dB pour l'A330 et plus de 5dB concernant l'A350) comparé à la procédure de référence.

De même des profils verticaux optimisés en consommation carburant ont permis pour chaque type avion de proposer des solutions offrant des réductions de consommation par rapport à la procédure de référence (au-delà de 30kg pour l'A320, au-delà de 130kg pour l'A330 et autour des 90kg pour l'A350).

Cette étude a également mis en lumière les compromis à prendre en compte sur ces sujets bruit et consommation carburant déjà bien connus par le secteur de l'aviation.

En effet nous observons que la recherche d'une réduction maximale d'un des critères s'accompagne assez systématiquement soit d'une dégradation de ce même critère sur une autre localisation géographique (il s'agit ici du bruit) ou d'une dégradation de la performance associée au deuxième critère : bruit et fuel sont souvent des objectifs antagonistes. Privilégier le fuel aura tendance à impacter négativement le bruit en zone proche de l'aéroport.

Cependant cette étude a positivement mis en lumière à la fois des solutions gagnant-gagnant bruit et consommation carburant pour certains cas mais aussi la possibilité d'explorer des cas intermédiaires qui autorisent à choisir un compromis de performance sur les deux objectifs.

Enfin, la solution PRISALT a également été évalué sur un plan performance acoustique et consommation carburant. Cette procédure n'a pas fait l'objet d'un processus d'optimisation mais est une proposition d'un profil unique pour les trois types avions. Nous voyons que cette solution, pour le cas A320, est en fait une extension du domaine d'optimisation si nous ne considérons pas la contrainte de vitesse minimale à PO083. Pour l'A320 elle offre donc un gain en bruit sur le

92	RAPPORT DE L'ETUDE D'OPTIMISATION BRUIT AEROPORT D'ORLY	NAV.B.TEC.18.0088
	DEPARTS PISTES 08 ET 24	4 TH FEB 2019

premier micro proche de -4dB. Concernant l'A330 et l'A350 la solution PRISALT permet d'obtenir un gain acoustique compris entre -2.5dB et -3dB; les impacts étant mineurs sur les deux autres micros. L'exercice d'intégrer la notion d'exposition au bruit à travers l'utilisation d'une métrique bruit dédié (le SEL) a également été effectué pour le cas PRISALT. Cette métrique, intégrant temporellement le champ sonore en LA_{max} , est piloté par la valeur du niveau maximum en LA et par la durée d'intégration. L'écart notable de vitesse avion entre le profil de référence et la procédure PRISALT au niveau des micros présentant le gain en bruit maximum fait que cet écart observé en LA_{max} , bien que toujours présent, sera minoré en SEL.

Outre l'impossibilité avec la solution PRISALT de respecter une contrainte de vitesse minimale à PO082, l'analyse de la solution a montré une surconsommation en carburant systématique pour les trois types avions.

In fine cette étude n'est pas destinée à énoncer et imposer une vérité unique mais bien à souligner qu'un domaine exploratoire de solutions présentant des compromis existe. Il fournit donc des éléments de réflexion à des discussions sur les sujets bruit et consommation carburant autour de la plateforme aéroportuaire d'Orly. Il faut également noter que cette étude ne concerne que la flotte Airbus et se base sur des modélisations ; il pourra être nécessaire de confirmer les tendances observées au travers d'analyses sur le terrain.

6. ANNEXES

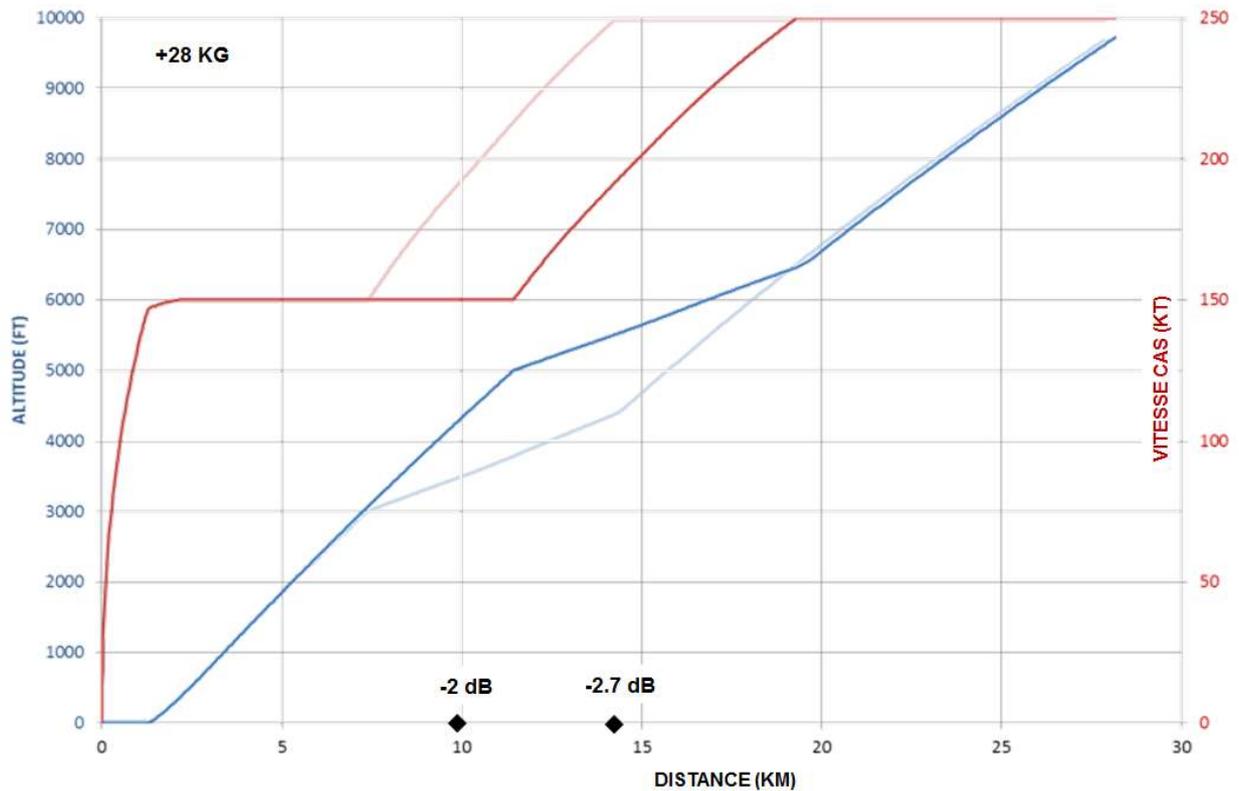
CHAPTER 06

NAVBLUE

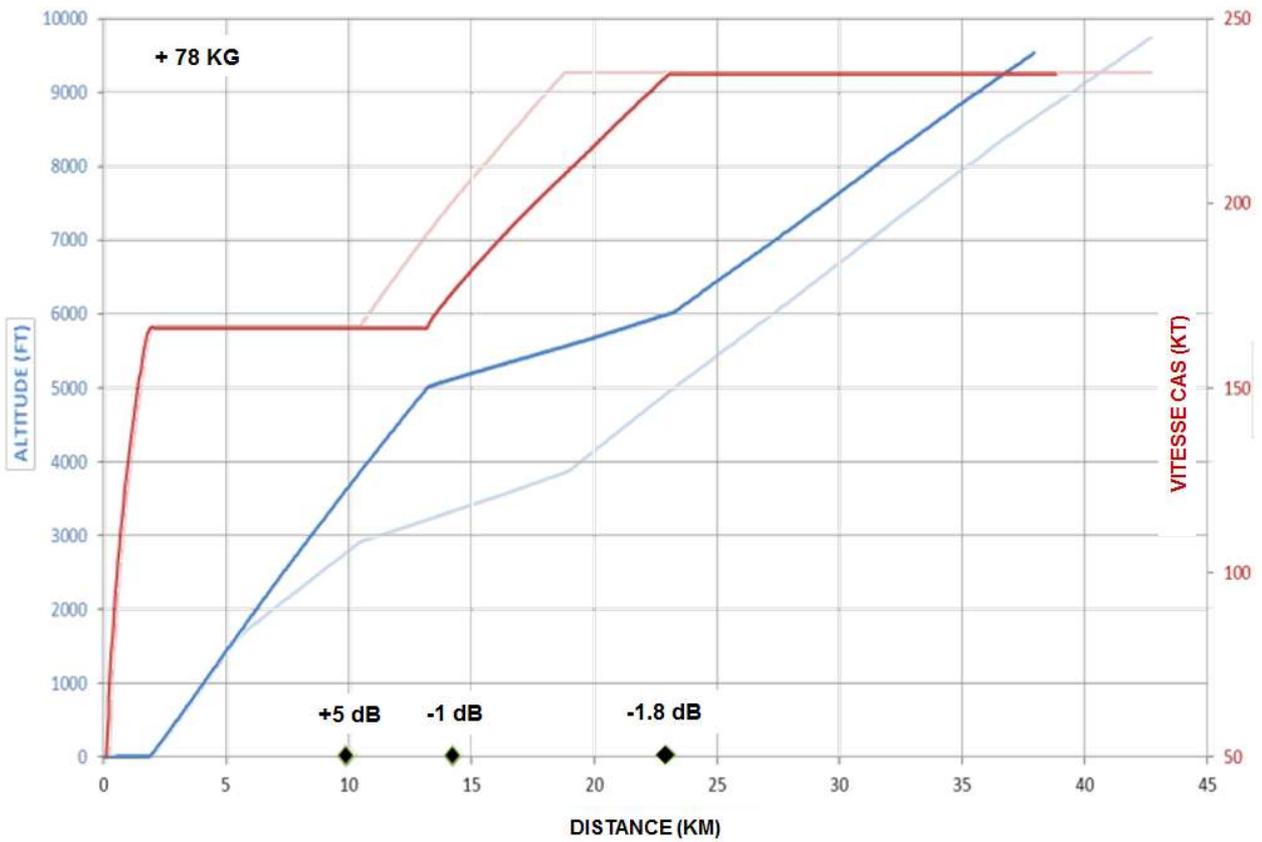
AN AIRBUS COMPANY

6.1. Annexes pour trajectoire 5000 / 5000

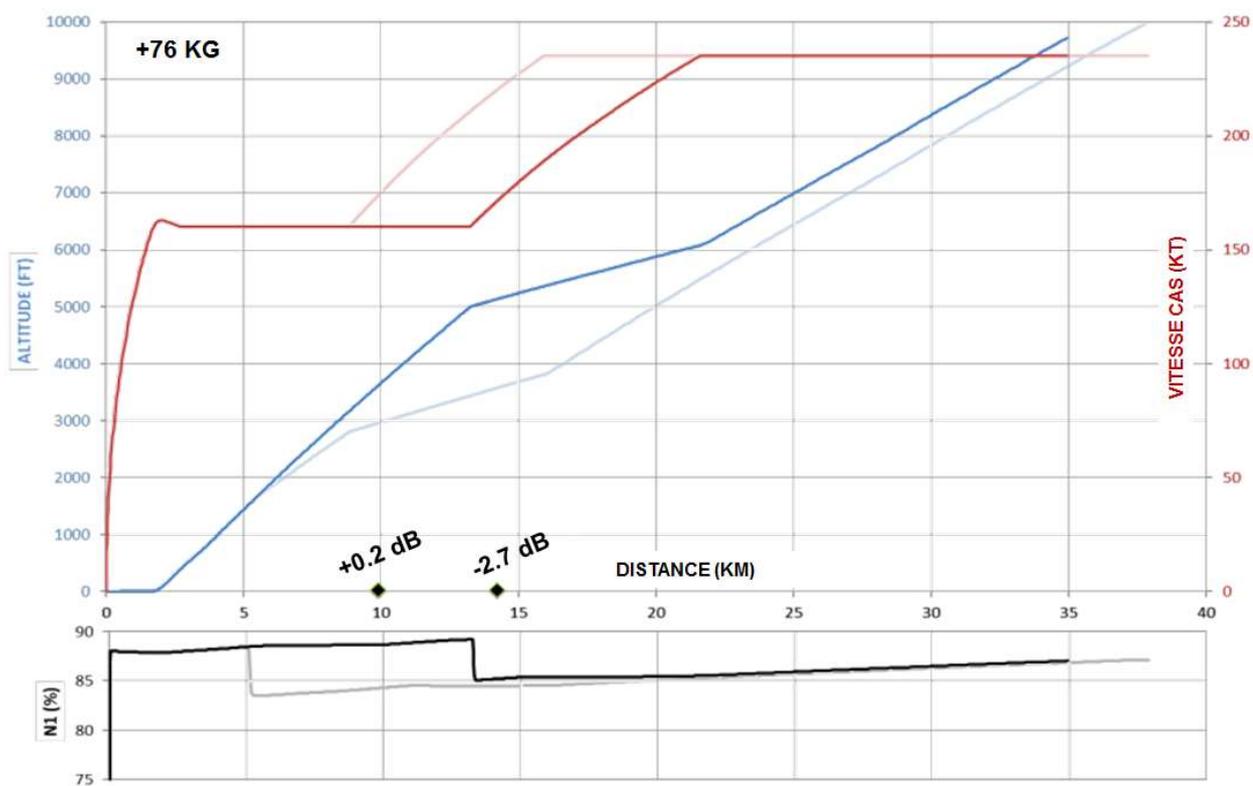
6.1.A. Annexe 1 : Trajectoire A320



6.1.B. Annexe 2 : Trajectoire A330

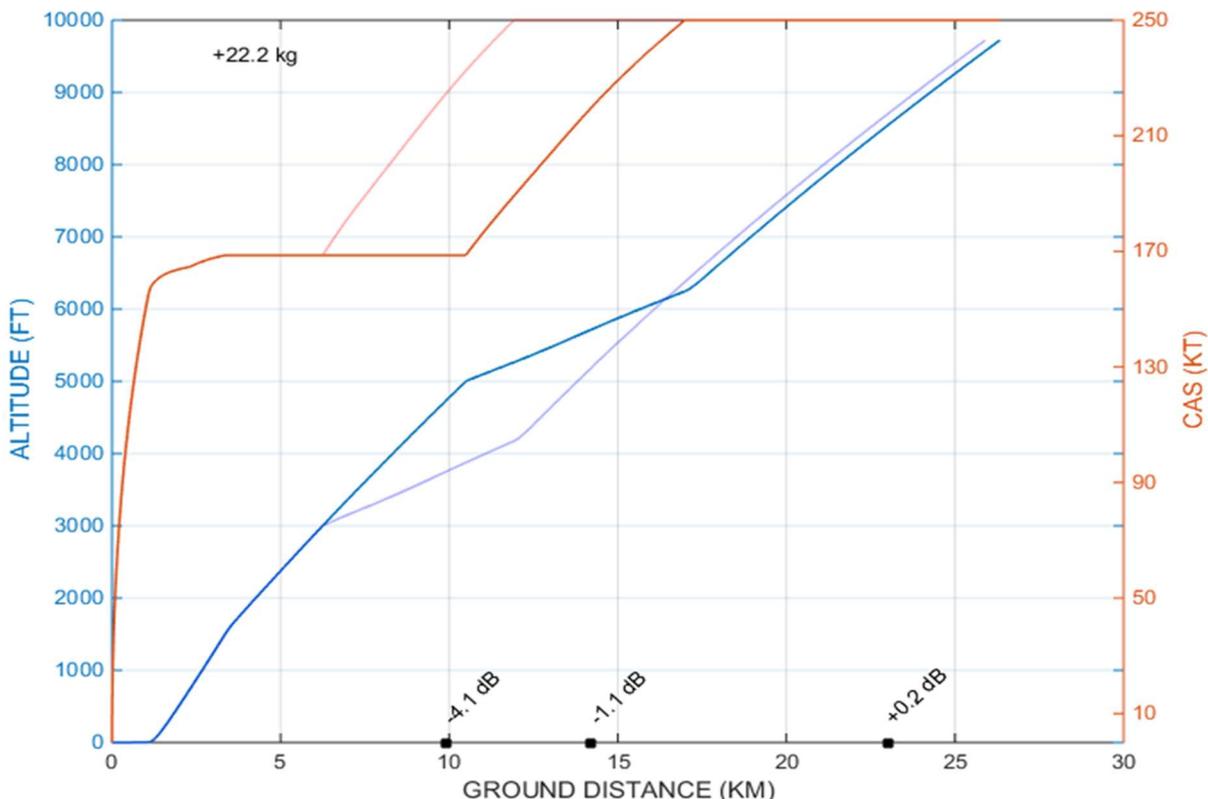


6.1.C. Annexe 3 : Trajectoire A350

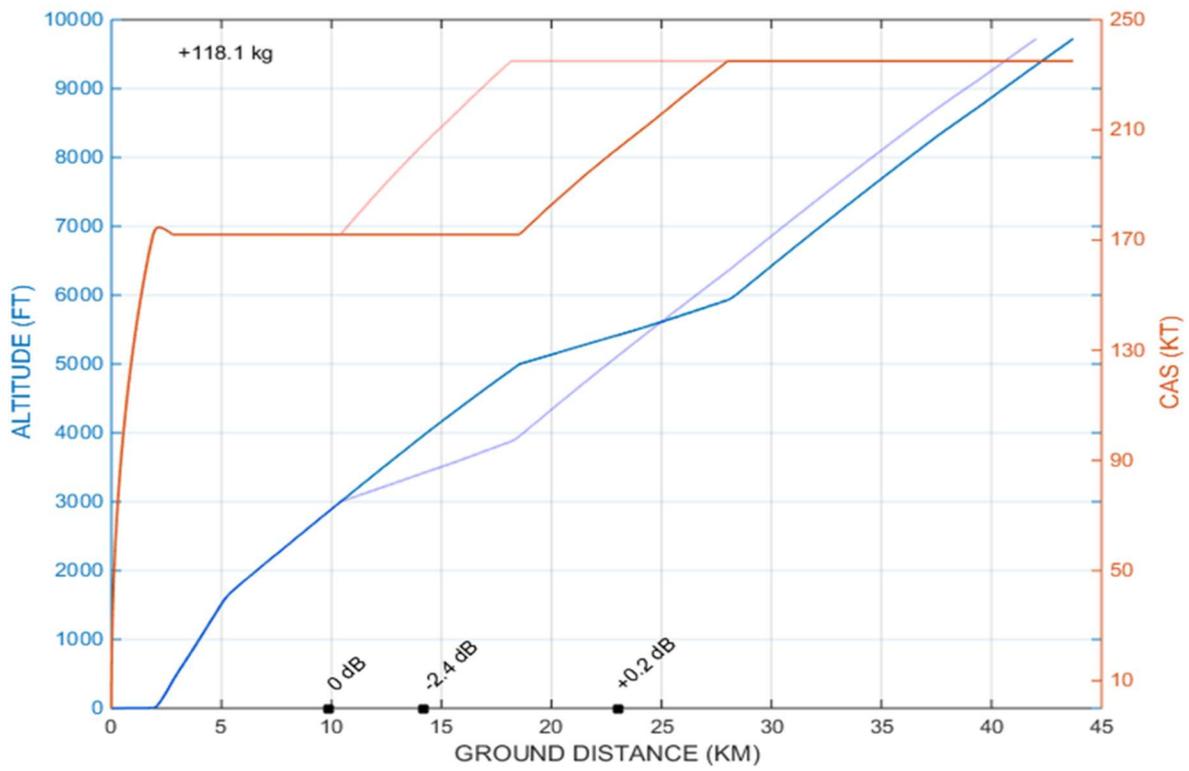


6.2. Annexes pour trajectoire 1500 / 5000 à TOGA

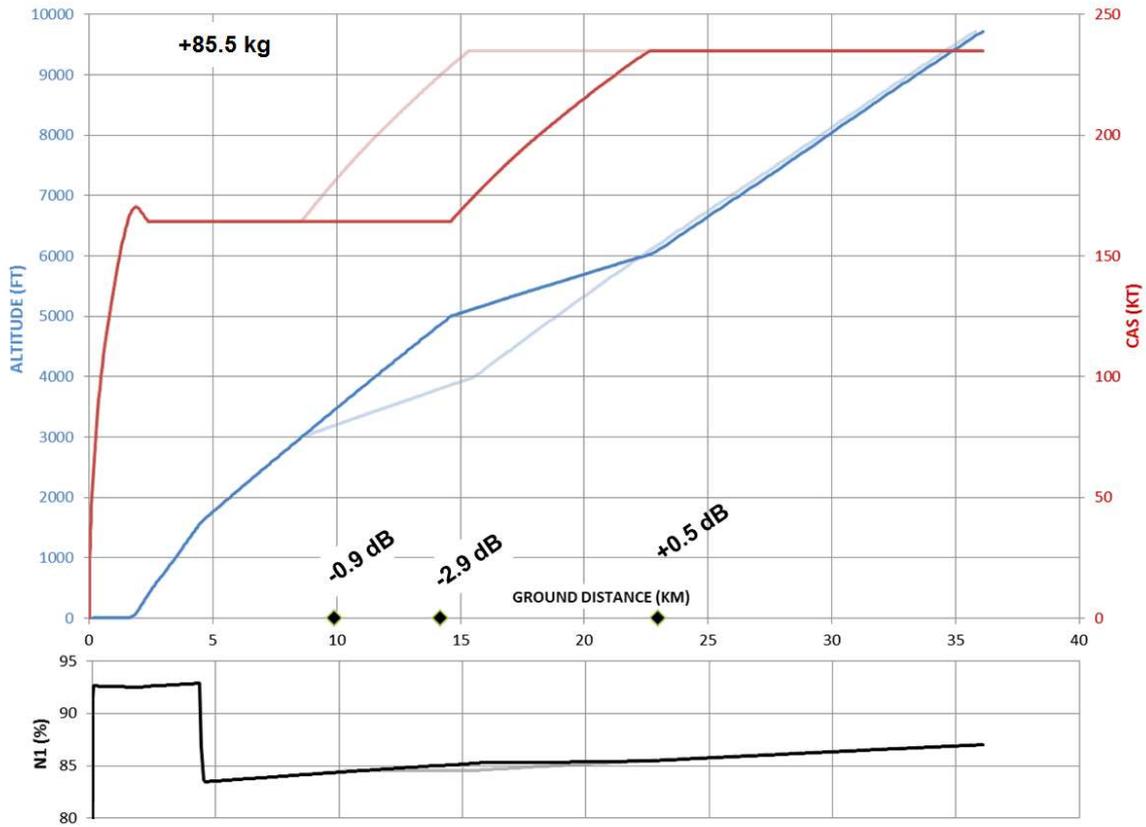
6.2.A. Annexe 4 : Trajectoire A320



6.2.B. Annexe 5 : Trajectoire A330



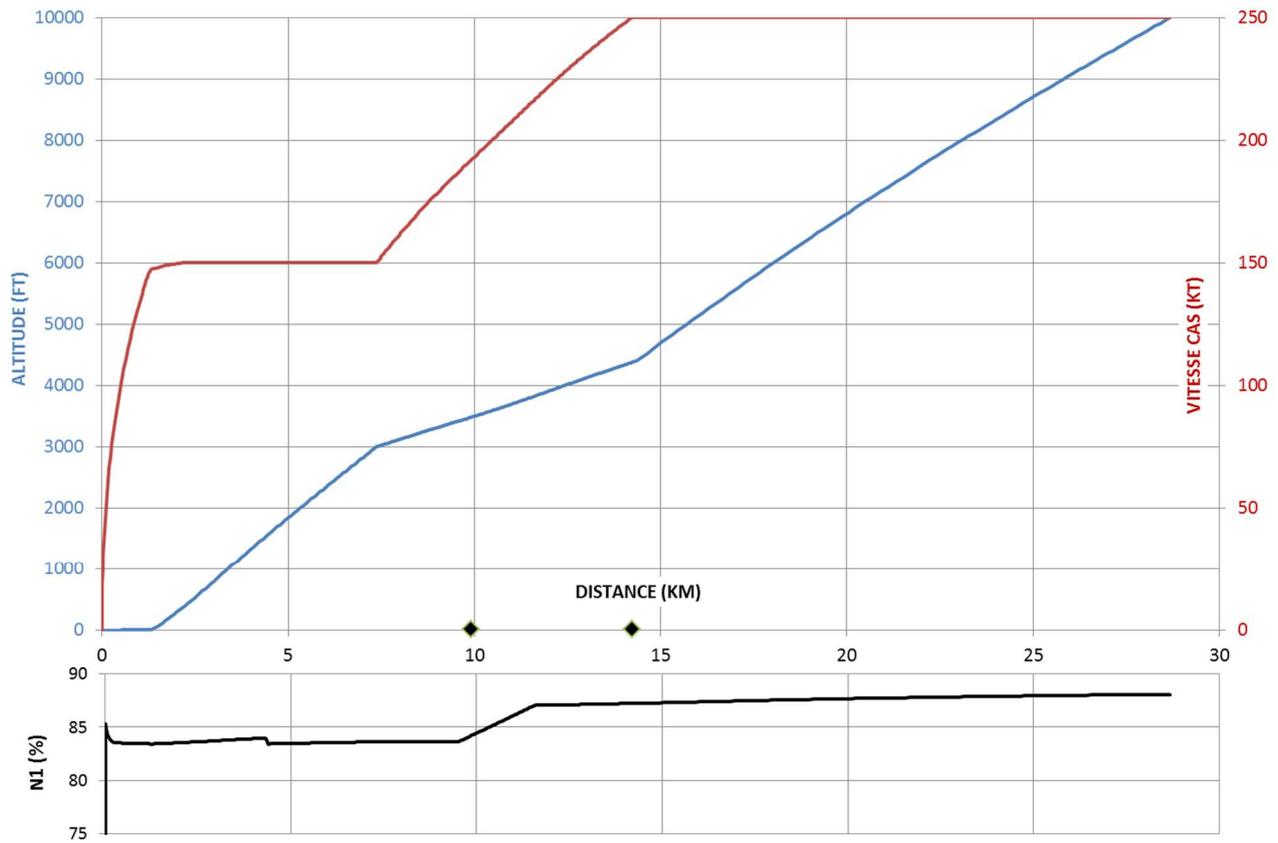
6.2.C. Annexe 6 : Trajectoire A350



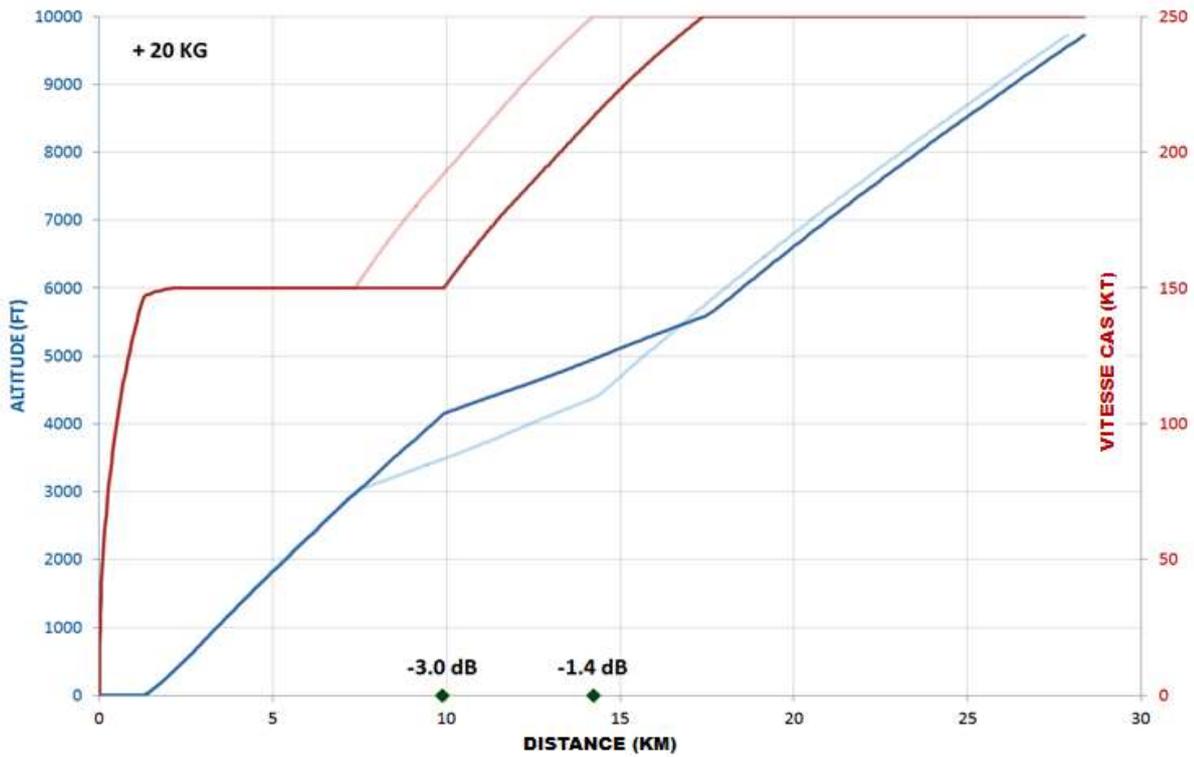
6.3. Annexes pour étude d'optimisation complémentaire piste 08

6.3.A. Annexe 7 : Trajectoires A320

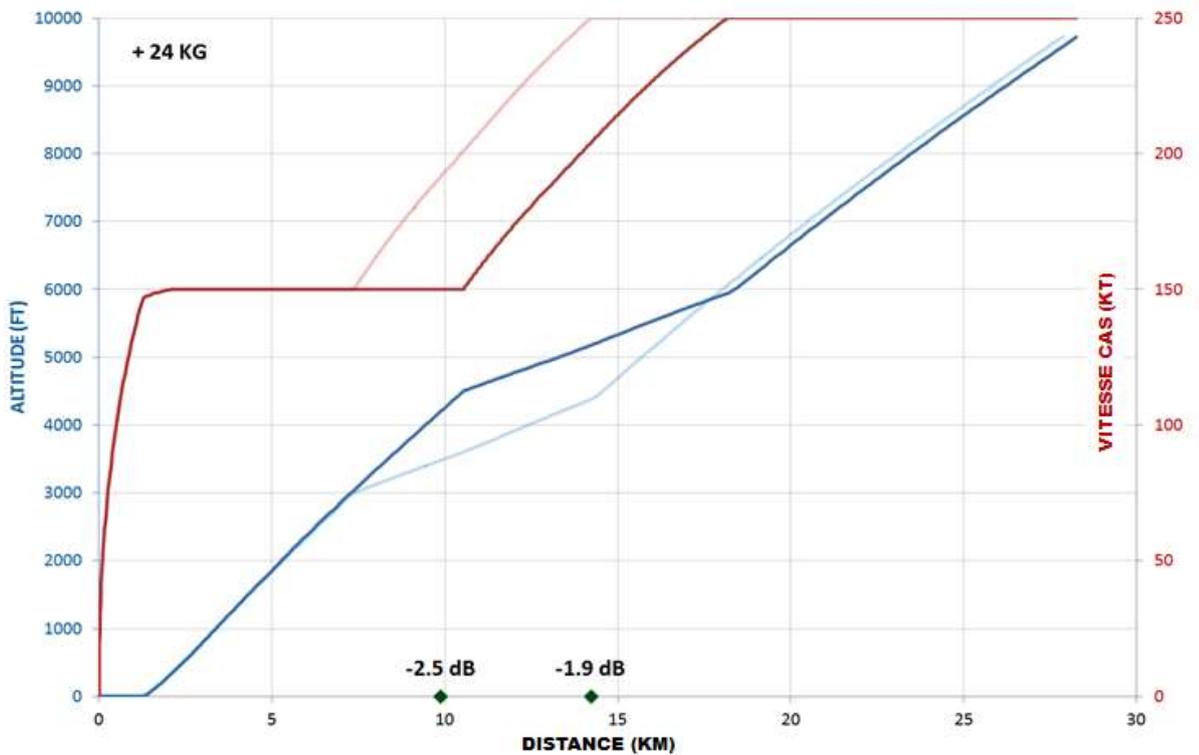
Trajectoire de référence A320 – Piste 08



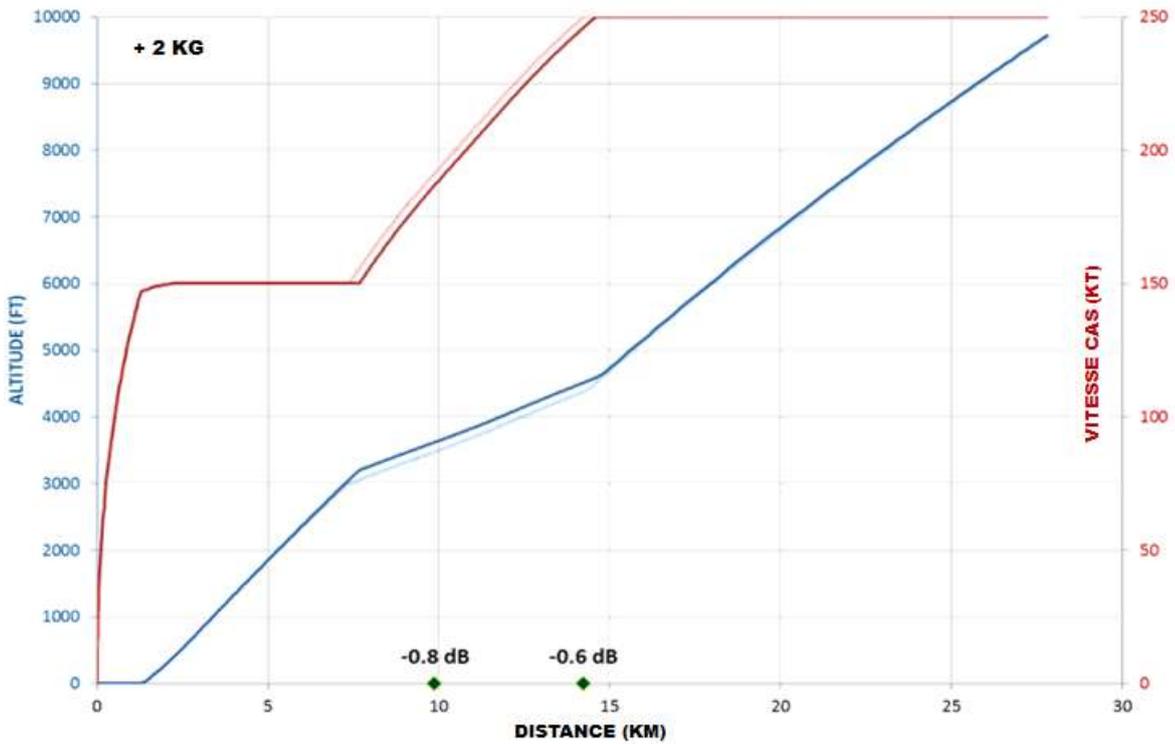
Trajectoire Minimum Bruit sur Micro 1 A320 – Piste 08



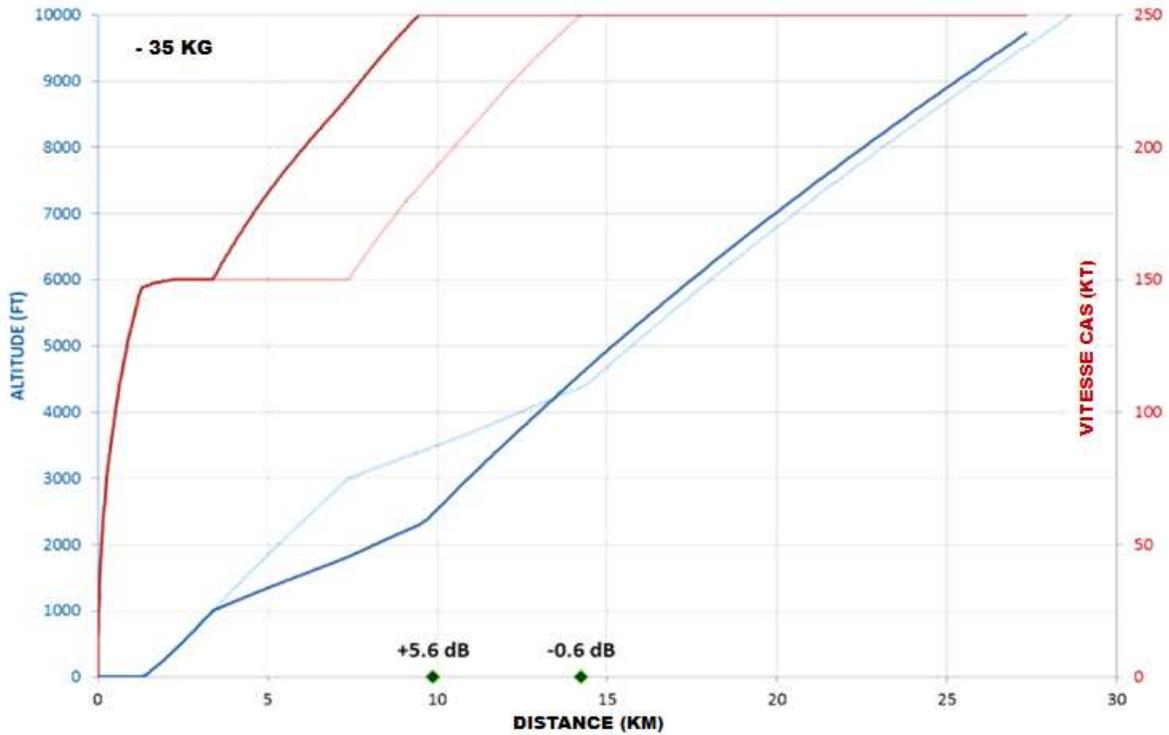
Trajectoire Minimum Bruit sur Micro 2 A320 – Piste 08



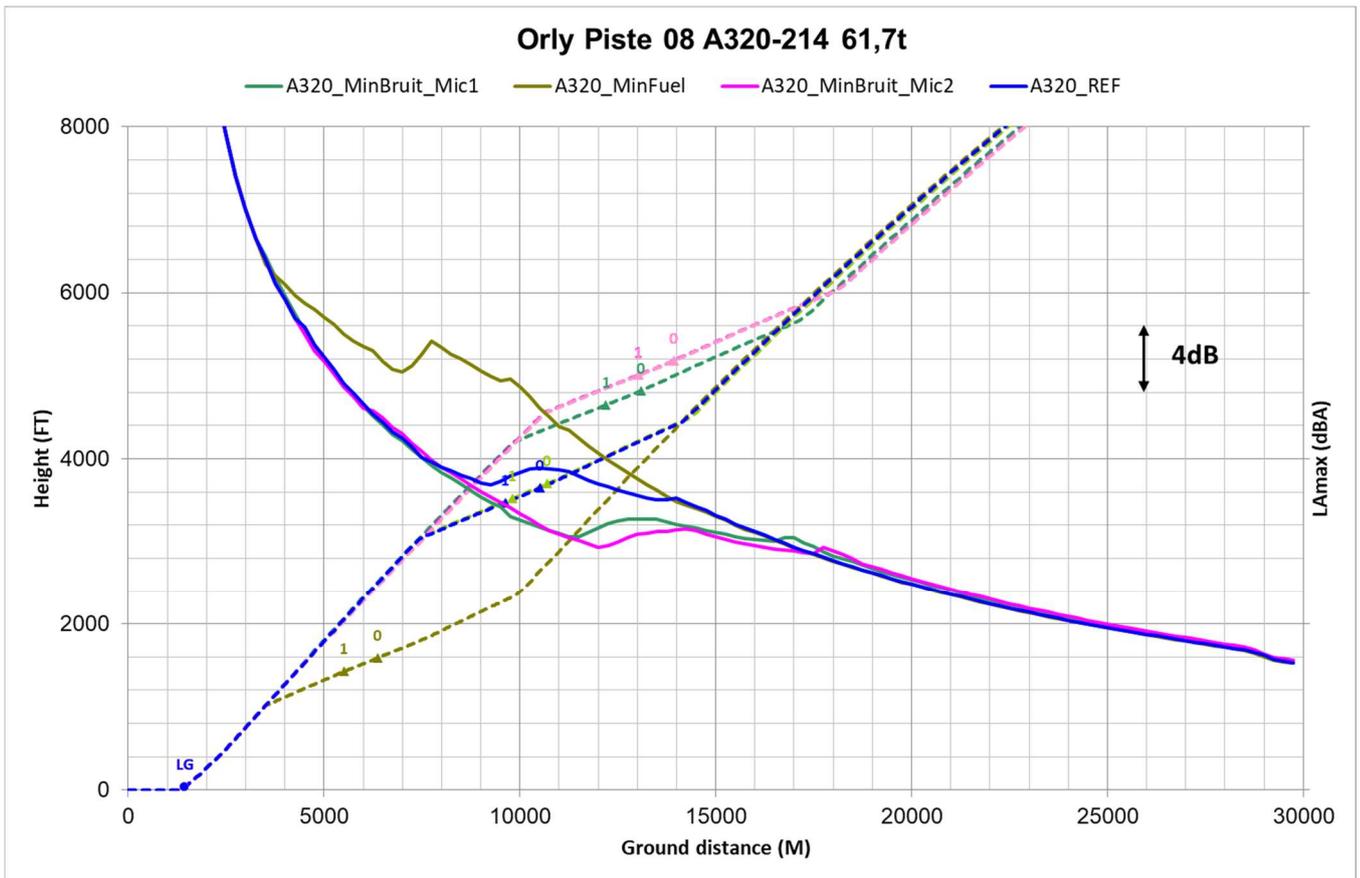
Trajectoire Intermédiaire A320 – Piste 08



Trajectoire Minimum Fuel A320 – Piste 08

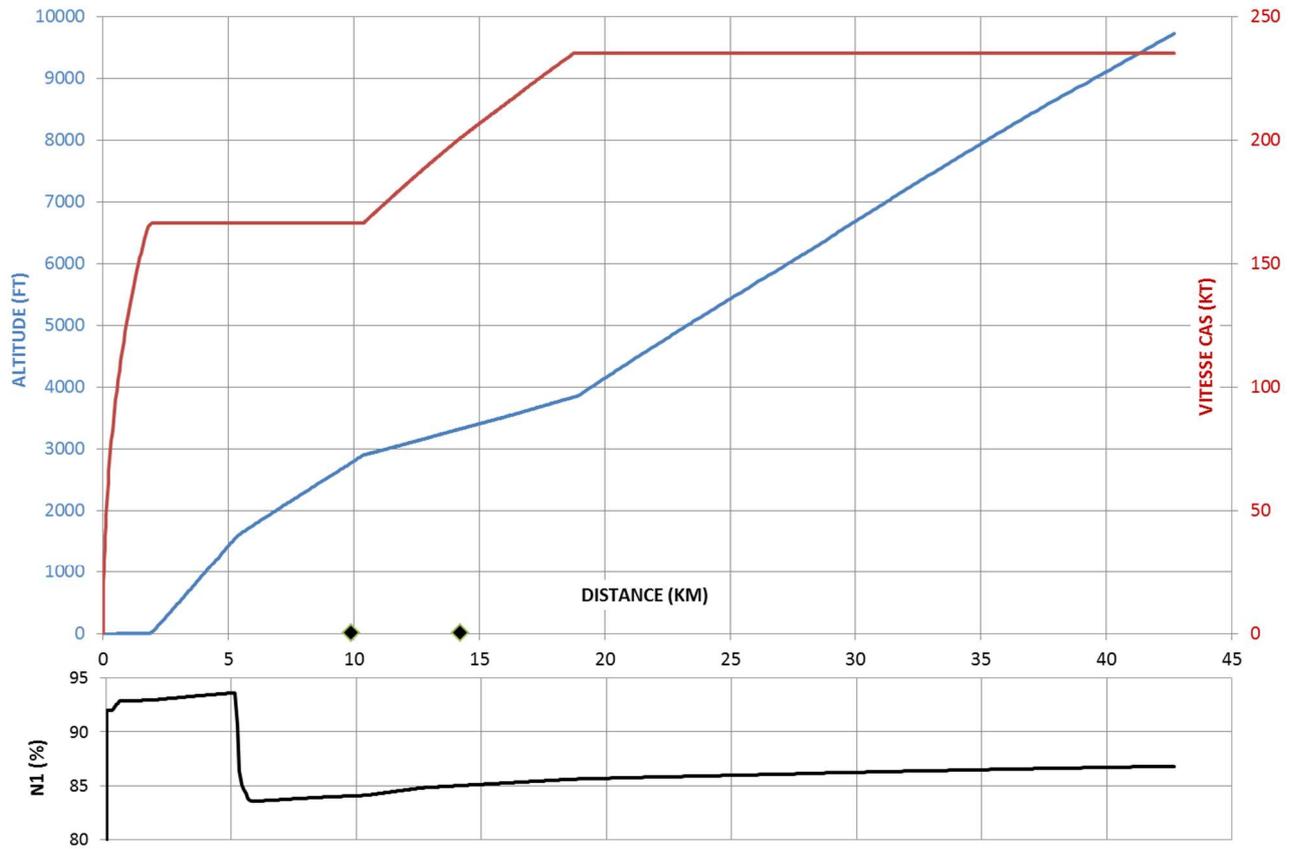


6.3.B. Annexe 7.1 : Profils de bruit A320 – Piste 08

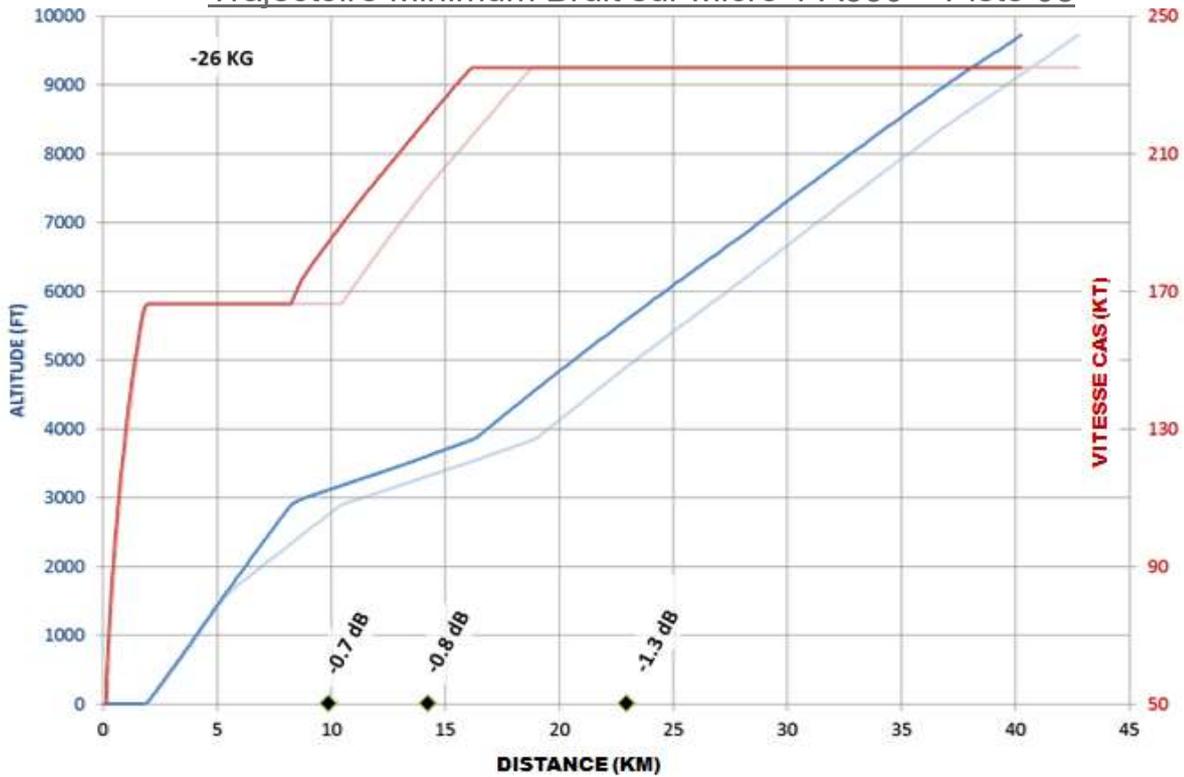


6.3.C. Annexe 8 : Trajectoires A330

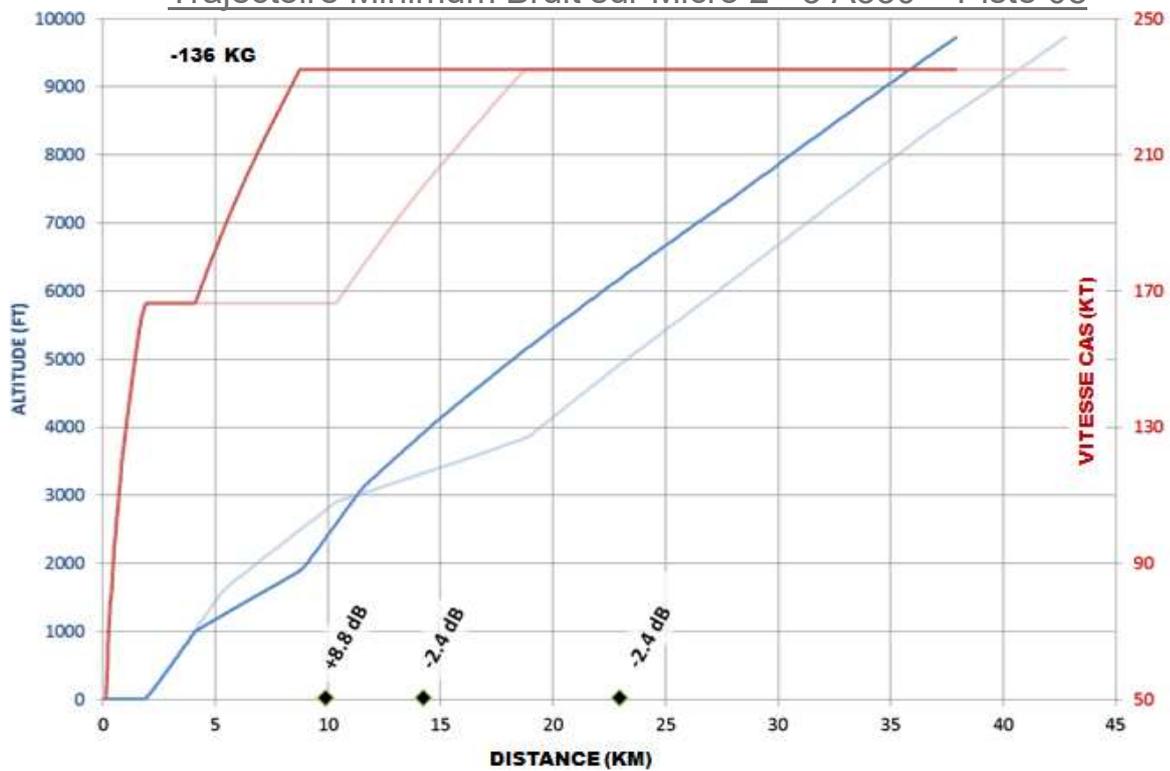
Trajectoire de référence A330 – Piste 08



Trajectoire Minimum Bruit sur Micro 1 A330 – Piste 08



Trajectoire Minimum Bruit sur Micro 2 - 3 A330 – Piste 08

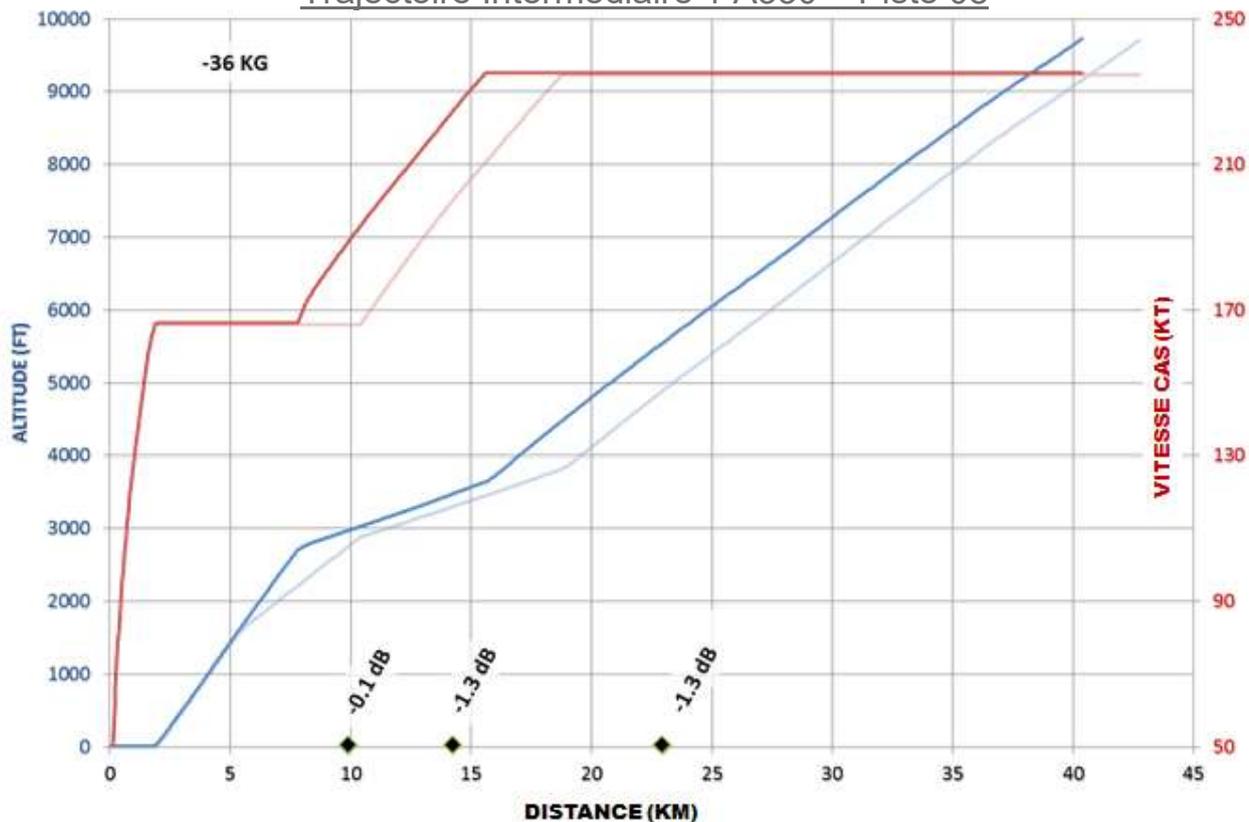


106	RAPPORT DE L'ETUDE D'OPTIMISATION BRUIT AEROPORT D'ORLY	NAV.B.TEC.18.0088
	DEPARTS PISTES 08 ET 24	4 TH FEB 2019

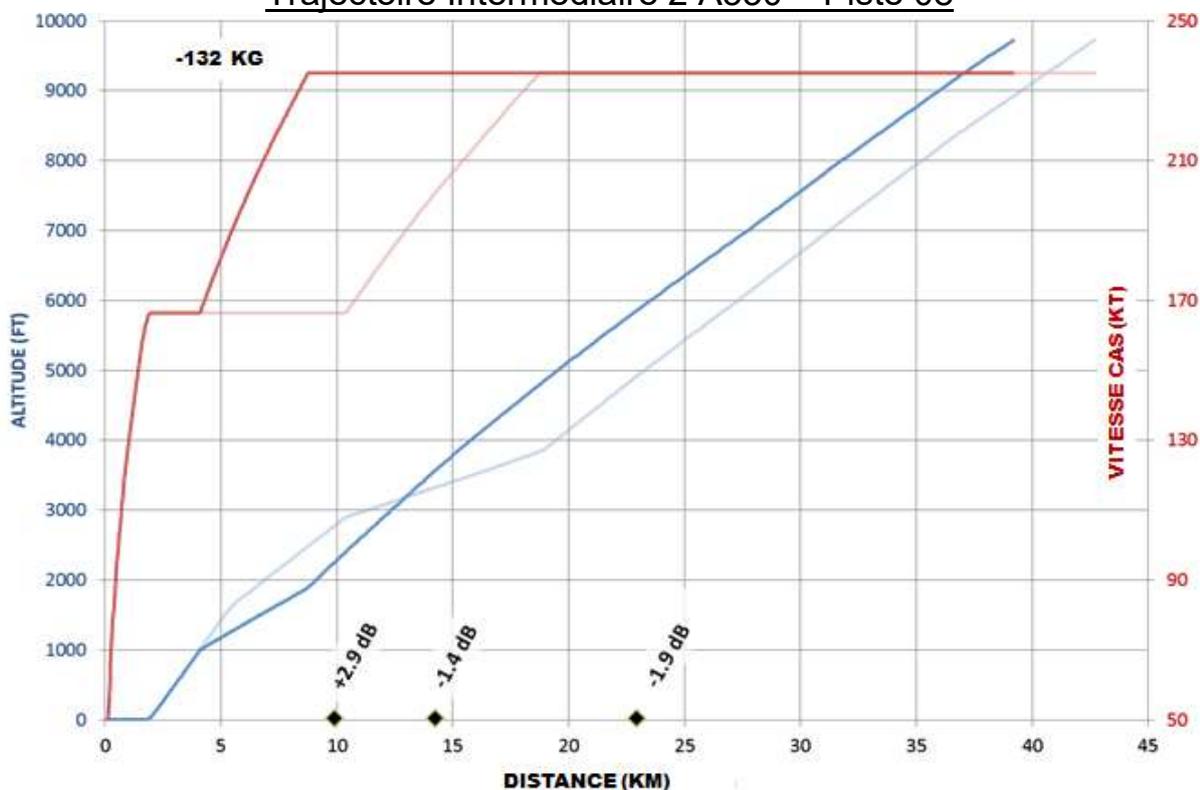


AN AIRBUS COMPANY

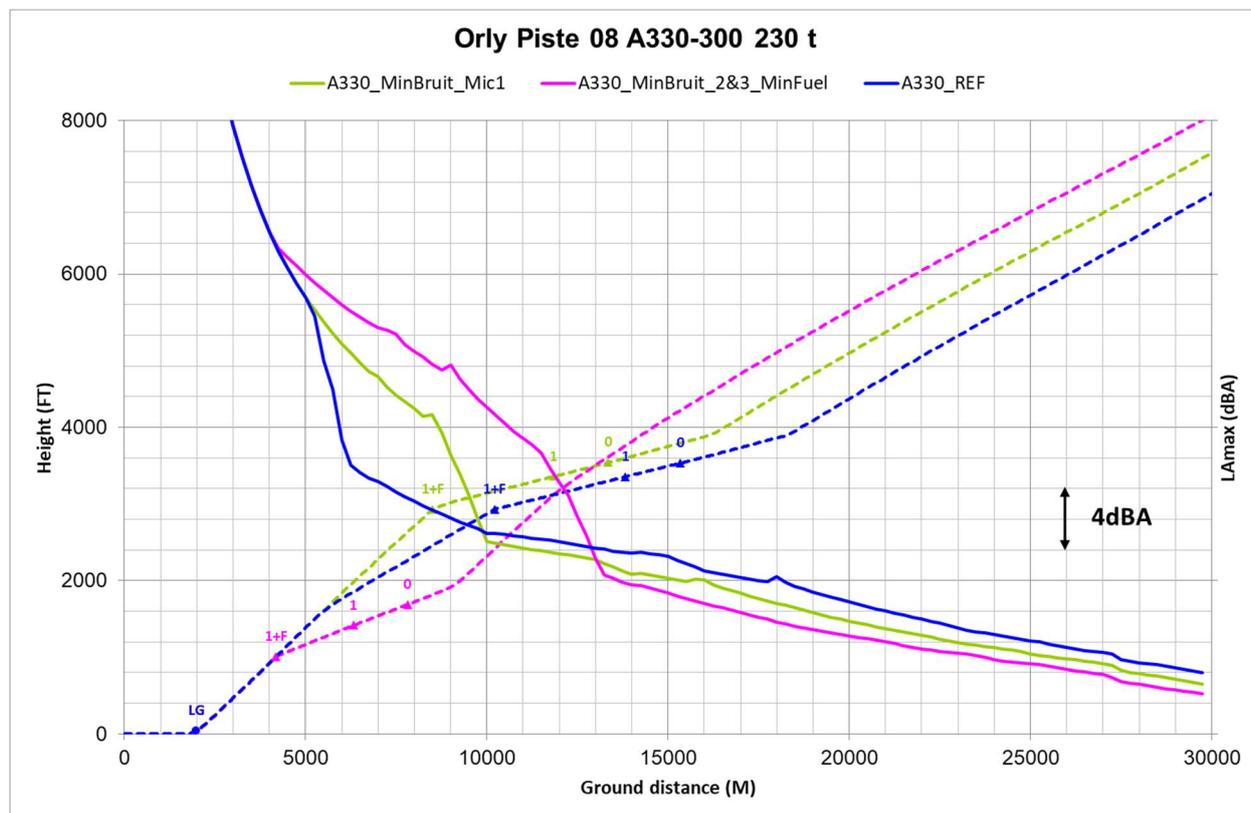
Trajectoire Intermediaire 1 A330 – Piste 08



Trajectoire Intermediaire 2 A330 – Piste 08



6.3.D. Annexe 8.1 Profils de bruit A330 – Piste 08



109	RAPPORT DE L'ETUDE D'OPTIMISATION BRUIT AEROPORT D'ORLY	NAVBLUE.TEC.18.0088
	DEPARTS PISTES 08 ET 24	4 TH FEB 2019

6.3.E. Annexe 9 : Tableau des solutions pour Micro 1 A350 – Piste 08

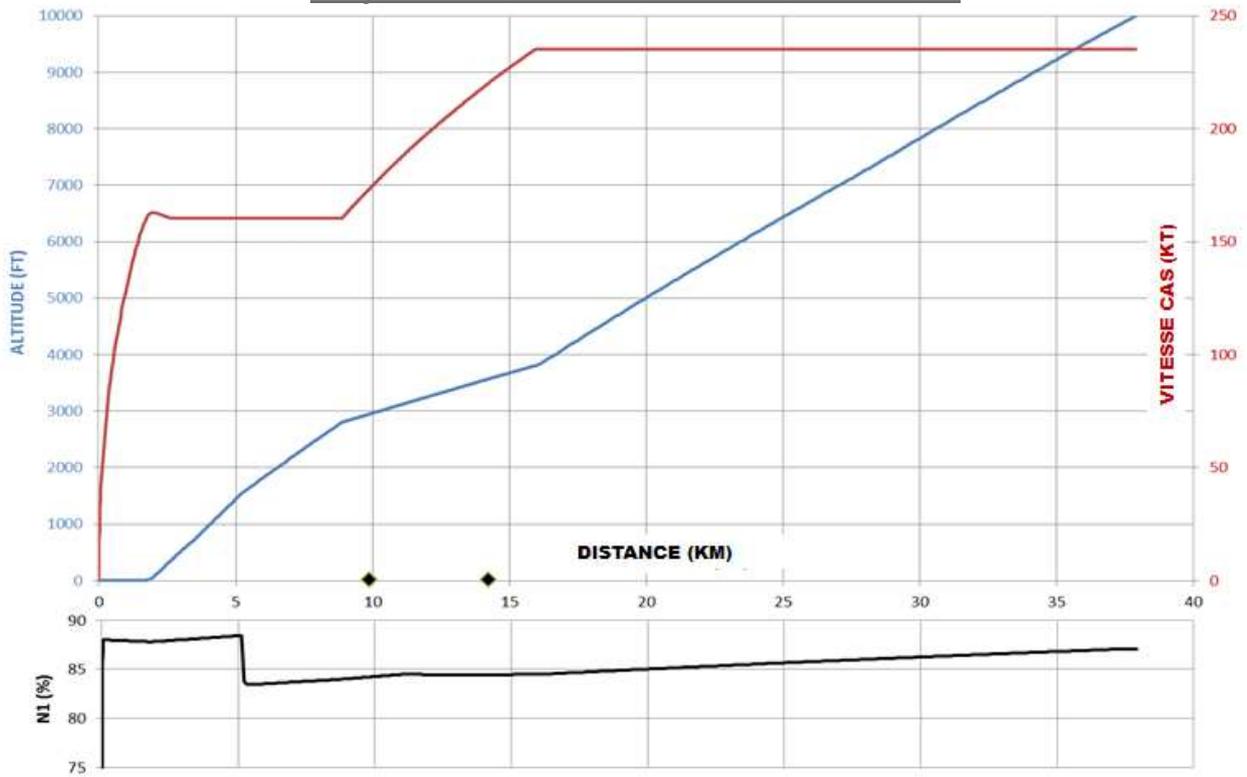
scenario	ZPred (FT)	N1 (%)	ZPacel (FT)	Vnoise (KT)	Zpfinal (FT)	DELTA BRUIT (dB)	DELTA FUEL (KG)
1	2200	80	1000	200	2800	-2.3	-55.5
2	2200	80.2	1000	200	2800	-2.2	-56.3
3	2200	80	1000	200	2750	-2.1	-56.5
4	2200	80.4	1000	200	2800	-2.0	-57.1
5	2200	80.2	1000	200	2750	-2.0	-57.2
6	2150	80	1000	205	2750	-2.0	-62.3
7	2150	80	1000	205	2700	-2.0	-63.0
8	2150	80.2	1000	205	2700	-1.9	-63.6
9	2150	80	1000	205	2650	-1.8	-63.7
10	2150	80.4	1000	205	2700	-1.8	-64.2
11	2150	80.2	1000	205	2650	-1.7	-64.4
12	2150	80.6	1000	205	2700	-1.6	-64.8
13	2100	80	1000	210	2650	-1.6	-68.5
14	2100	80	1000	210	2600	-1.6	-69.1
15	2100	80.2	1000	210	2600	-1.5	-69.6
16	2100	80	1000	210	2550	-1.4	-69.7
17	2100	80.4	1000	210	2600	-1.3	-70.1
18	2050	80.2	1000	210	2550	-1.3	-70.3
19	2100	80.2	1000	210	2550	-1.2	-70.7
20	2100	80	1000	210	2500	-1.2	-70.8
21	2000	80	1050	215	2500	-1.2	-72.6
22	2000	80	1000	215	2500	-1.1	-74.3
23	2000	80.2	1000	215	2500	-1.1	-74.8
24	2000	80	1000	215	2450	-1.0	-74.9
25	2000	80.4	1000	215	2500	-1.0	-75.3
26	2000	80.2	1000	215	2450	-0.9	-75.4
27	2000	80	1000	215	2400	-0.8	-75.5
28	2000	80.4	1000	215	2450	-0.7	-75.9
29	1900	80	1000	220	2400	-0.7	-78.8
30	1900	80.2	1000	220	2400	-0.6	-79.2
31	1950	80	1000	220	2350	-0.6	-79.7
32	1950	80.2	1000	220	2350	-0.5	-80.0
33	1950	80	1000	220	2300	-0.4	-80.1
34	1950	80.4	1000	220	2350	-0.4	-80.4
35	1950	80	1000	220	2250	-0.2	-80.5
36	1850	80	1000	225	2350	-0.2	-82.0
37	1850	80.2	1000	225	2350	-0.1	-82.4
38	1850	80	1000	225	2250	-0.1	-82.8
39	1850	80.2	1000	225	2250	0.0	-83.3
40	1850	80.2	1000	225	2200	0.2	-83.5
41	1850	80	1000	230	2200	0.2	-85.9
42	1850	80	1000	230	2150	0.4	-86.3
43	1850	80.2	1000	230	2150	0.4	-86.4
44	1850	80	1000	230	2050	0.7	-86.5
45	1850	80	1000	230	2000	0.9	-86.8
46	1850	80	1000	235	2150	1.0	-89.8
47	1850	80	1000	235	2000	1.1	-90.1
48	1850	80.8	1000	235	2100	1.5	-90.3
49	1850	81	1000	235	2150	1.7	-90.4
50	1850	81.2	1000	235	2050	2.0	-90.5
51	1850	81.4	1000	235	2050	2.2	-90.8
52	1850	81.6	1000	235	2050	2.4	-90.9
53	1900	82	1000	235	2100	2.7	-91.4
54	1900	82.2	1000	235	2100	2.9	-91.5
55	1900	82.2	1000	235	2050	2.9	-91.6
56	1950	80.6	1000	235	1950	4.9	-92.2
57	3000	83.2	1000	230	3000	6.9	-93.2
58	3000	80.6	1000	235	3000	7.4	-94.7

6.3.F. Annexe 10 : Tableau des solutions pour Micro 2 A350 – Piste 08

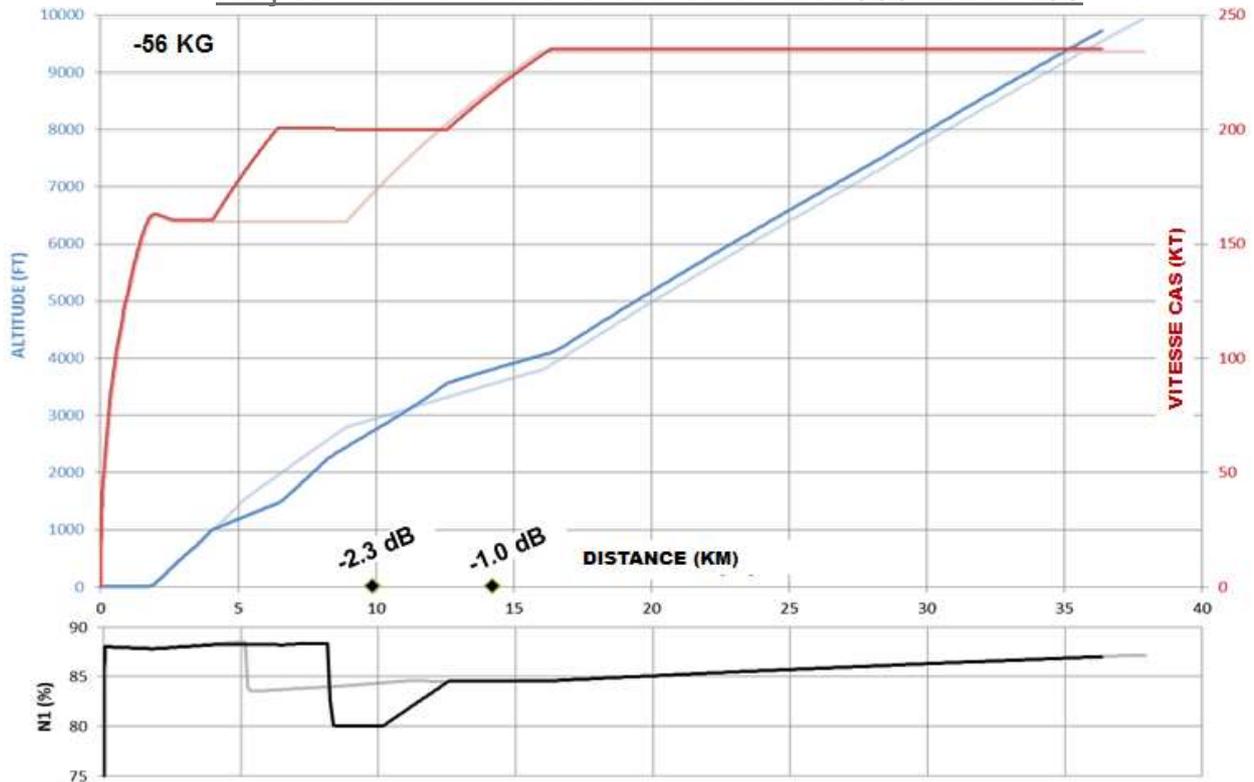
scenario	Zpred (FT)	N1 (%)	ZPaccel (FT)	Vnoise (KT)	Zpfinal (FT)	DELTA BRUIT (dB)	DELTA FUEL (KG)
1	3000	79.4	1250	220	3900	-4.6	-61.4
2	3000	79.4	1200	220	3900	-4.6	-63.4
3	3000	79.4	1150	220	3900	-4.6	-65.4
4	3000	79.4	1100	220	3900	-4.6	-67.2
5	3000	79.4	1050	220	3900	-4.6	-69.2
6	3000	79.4	1000	220	3900	-4.6	-71.0
7	3000	78.8	1150	225	3750	-4.5	-71.3
8	3000	78.8	1100	225	3750	-4.5	-73.4
9	3000	78.8	1050	225	3750	-4.5	-75.3
10	3000	78.8	1100	230	3750	-4.4	-79.2
11	3000	79.2	1100	230	3750	-4.3	-79.8
12	3000	79.2	1050	230	3750	-4.3	-82.0
13	3000	79.2	1000	230	3750	-4.3	-84.0
14	3000	79.4	1000	230	3750	-4.2	-84.4
15	3000	79.8	1000	230	3800	-4.1	-84.7
16	3000	80	1000	230	3800	-4.0	-85.0
17	2950	79	1000	235	3650	-4.0	-90.5
18	3000	78.8	1000	235	3600	-4.0	-90.8
19	3000	79.4	1000	235	3700	-3.9	-91.2
20	3000	79.6	1000	235	3700	-3.9	-91.4
21	3000	79.8	1000	235	3700	-3.8	-91.6
22	3000	80	1000	235	3700	-3.7	-91.8
23	3000	80.2	1000	235	3750	-3.7	-91.9
24	3000	79.8	1000	235	3550	-3.3	-92.0
25	3000	79.6	1000	235	3500	-3.2	-92.1
26	3000	79.4	1000	235	3350	-2.8	-92.4
27	3000	79.2	1000	235	3250	-2.5	-92.6
28	3000	79	1000	235	3200	-2.4	-92.6
29	3000	79	1000	235	3150	-2.2	-92.8
30	3000	79.4	1000	235	3200	-2.1	-92.9
31	3000	80.2	1000	235	3300	-2.0	-93.2
32	3000	79.6	1000	235	3150	-1.8	-93.3
33	3000	79.8	1000	235	3150	-1.6	-93.4
34	3000	79.6	1000	235	3100	-1.6	-93.5
35	3000	80	1000	235	3150	-1.6	-93.5
36	3000	78.8	1000	235	3000	-0.7	-94.7

6.3.G. Annexe 11 : Trajectoires A350

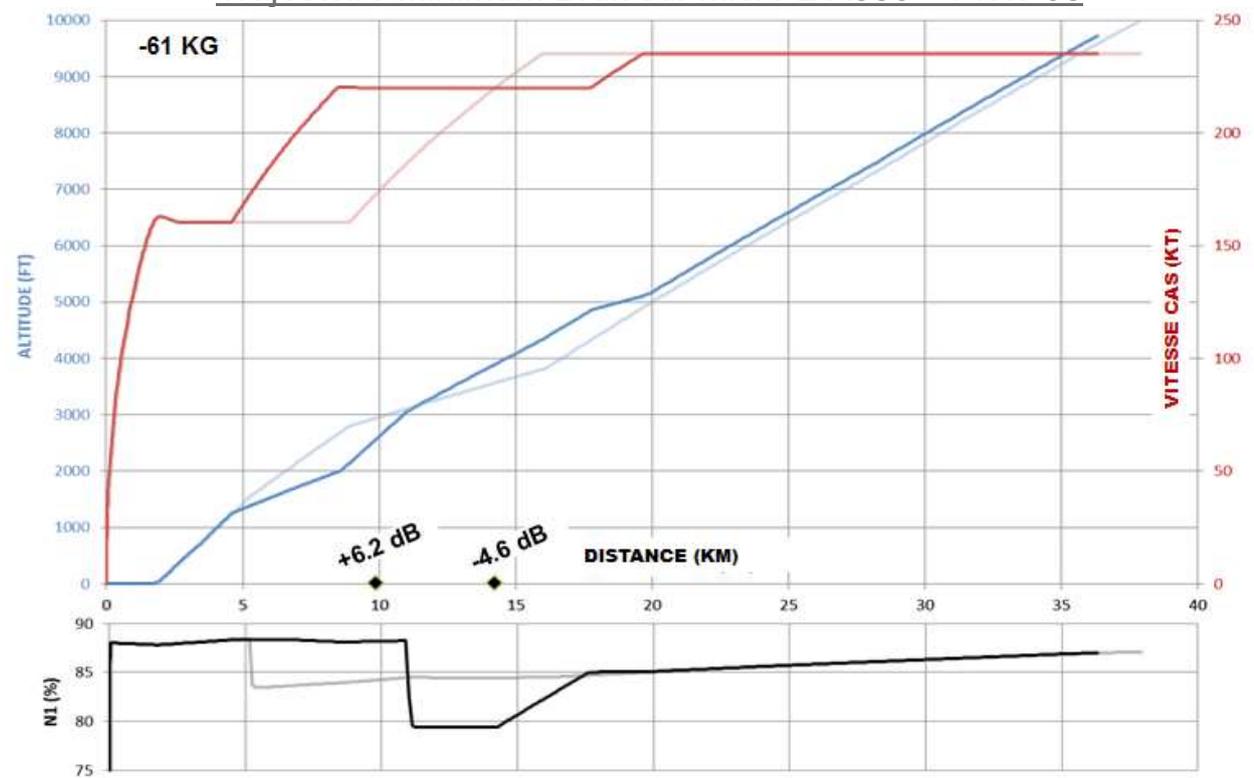
Trajectoire de référence A350 – Piste 08



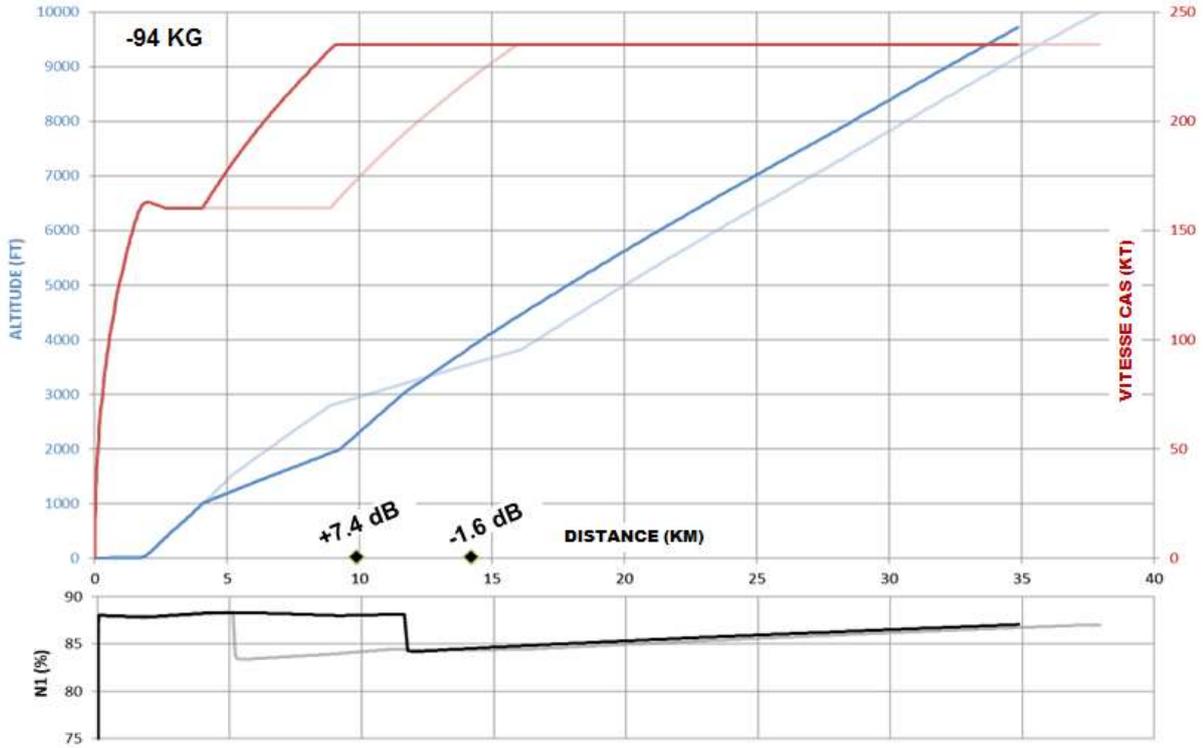
Trajectoire Minimum Bruit sur Micro 1 A350 – Piste 08



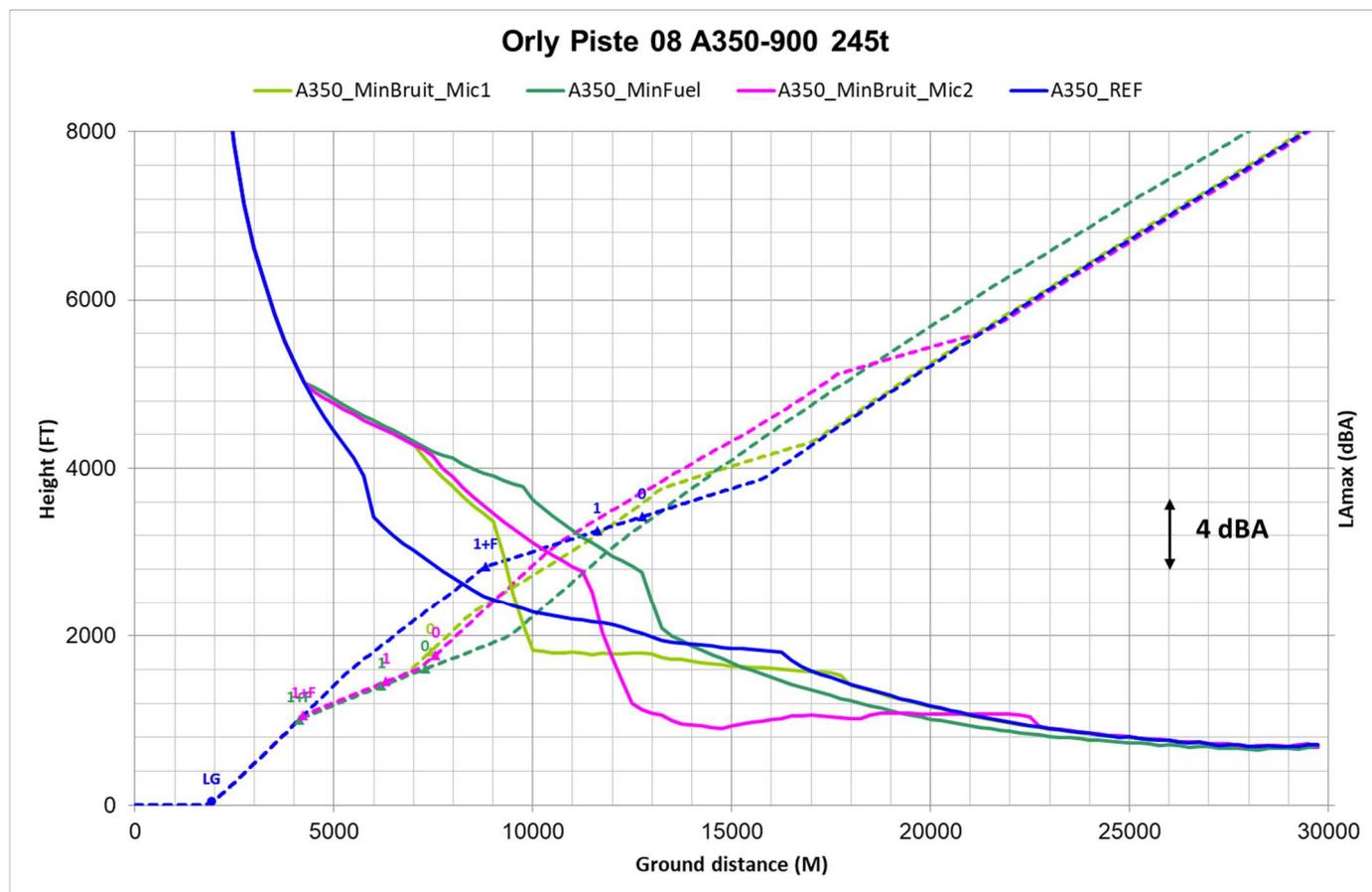
Trajectoire Minimum Bruit sur Micro 2 A350 – Piste 08



Trajectoire Minimum Fuel A350 – Piste 08



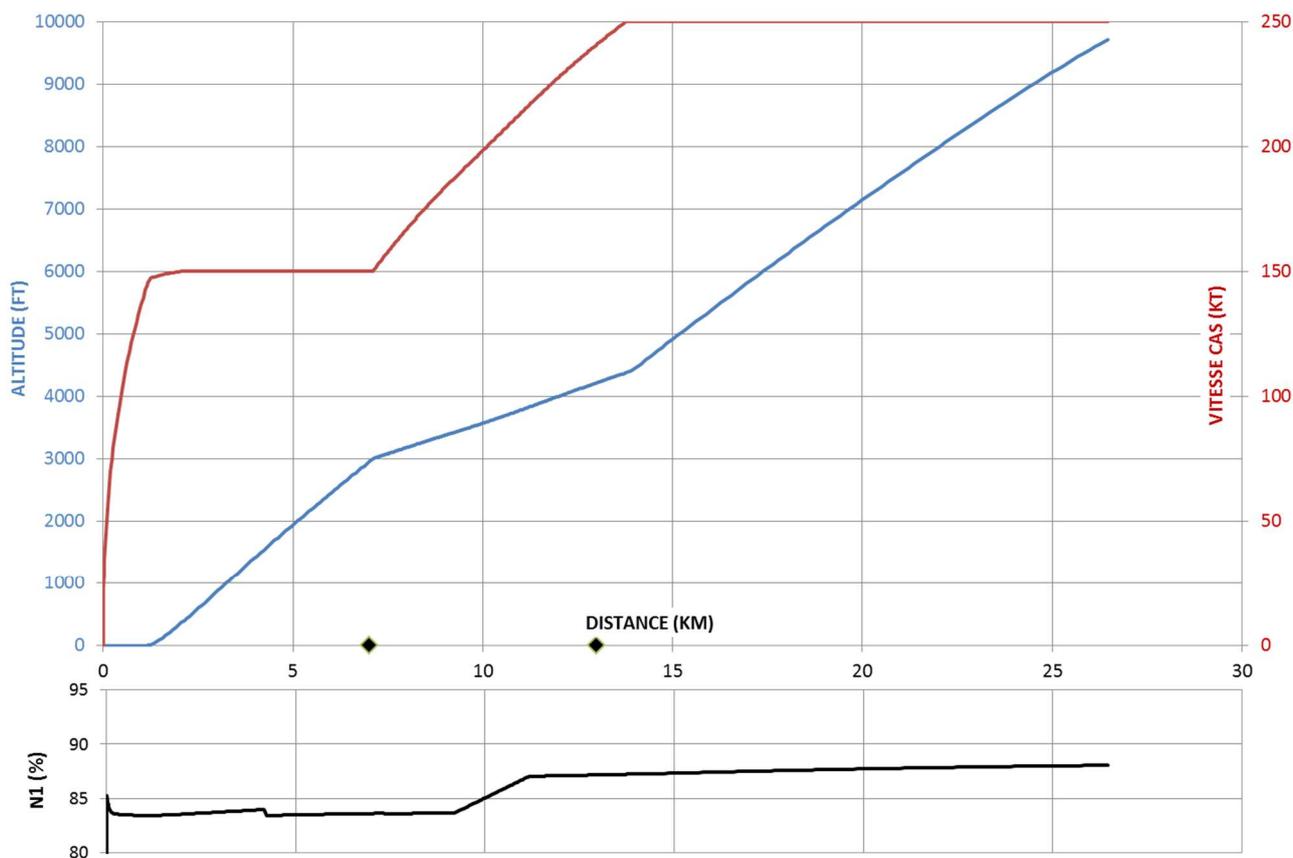
6.3.H. : Profils bruit A350 – Piste 08



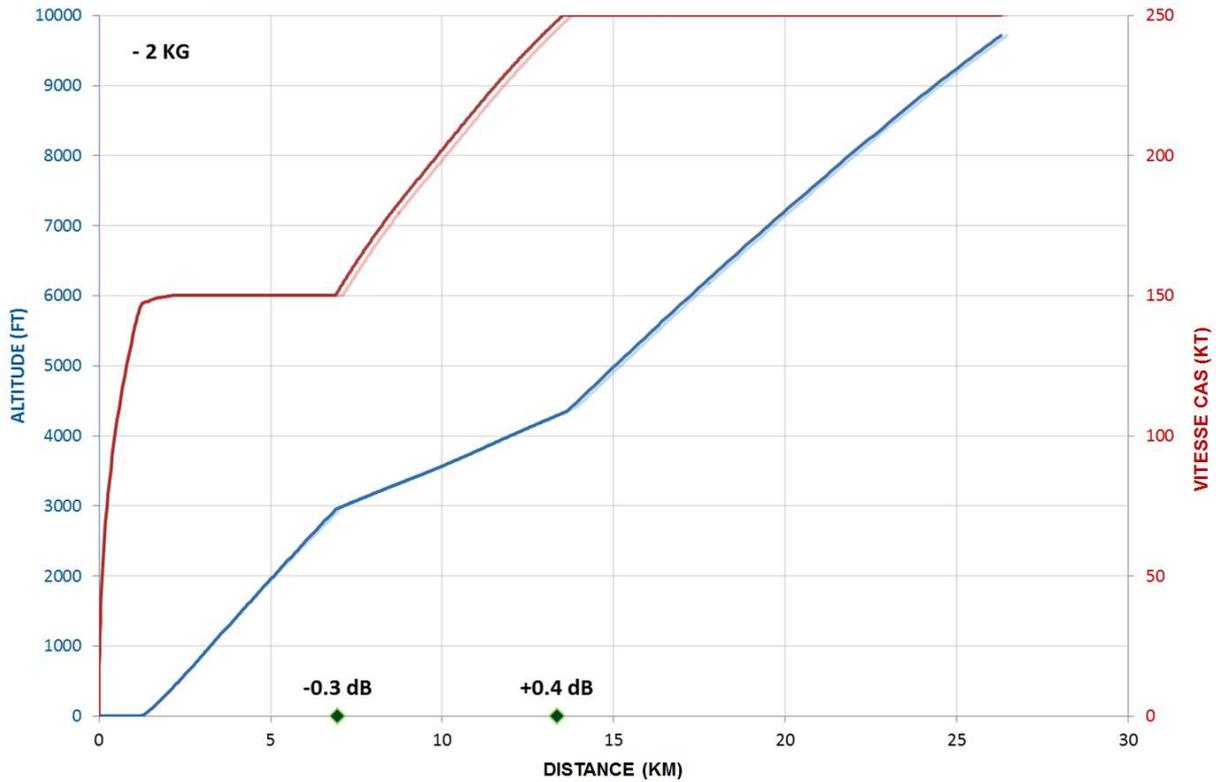
6.4. Annexes pour étude d'optimisation complémentaire piste 24

6.4.A. Annexe 12 : Trajectoires A320

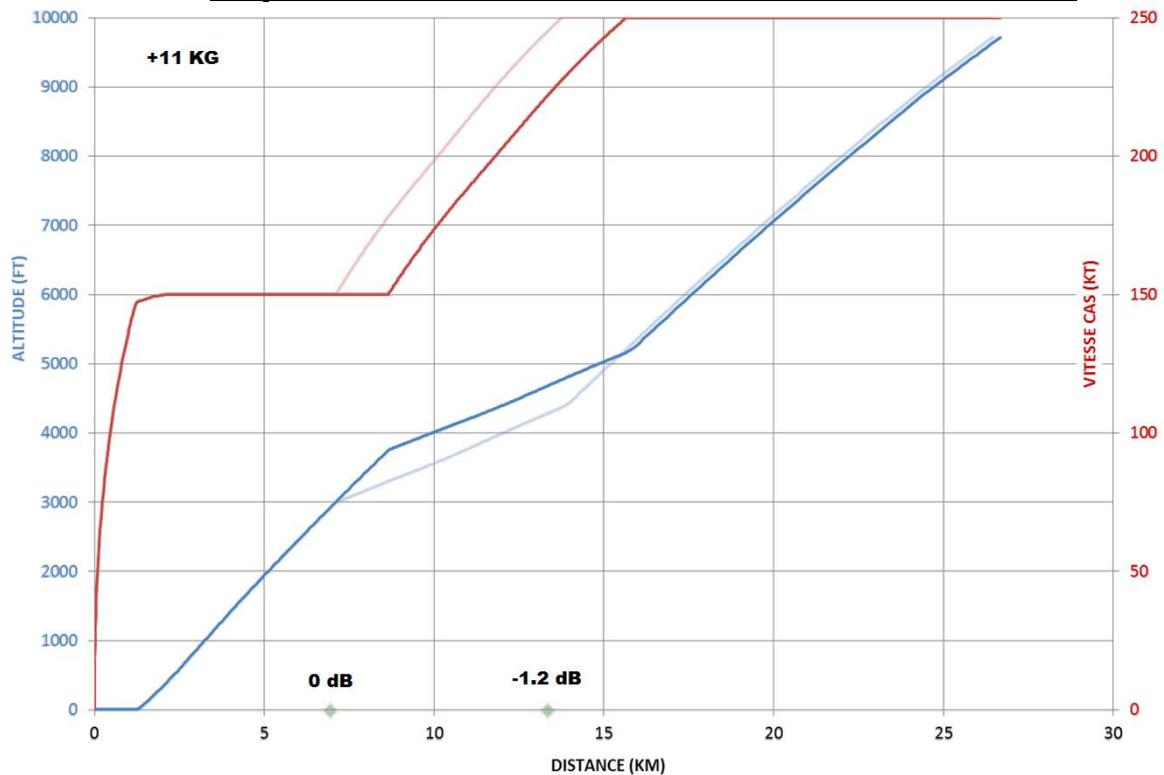
Trajectoire de référence A320 – Piste 24



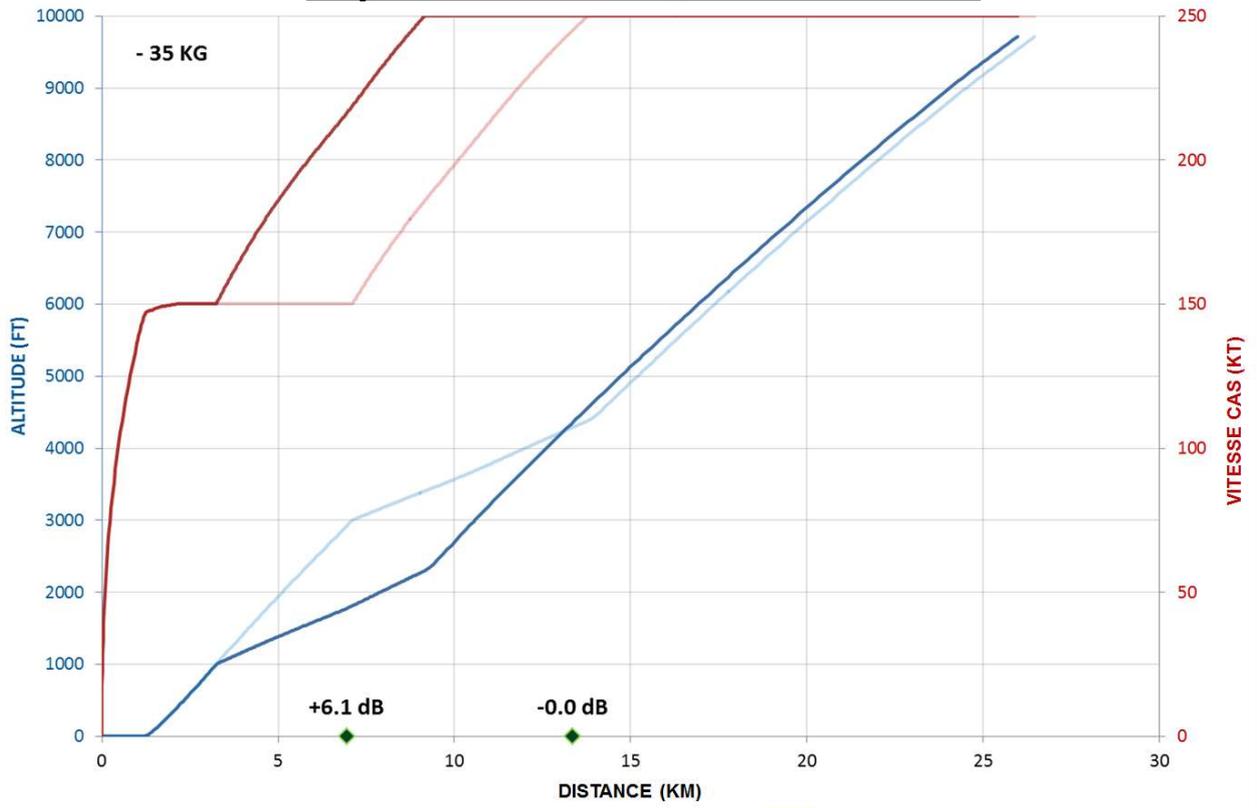
Trajectoire Minimum Bruit sur Micro 1 A320 – Piste 24



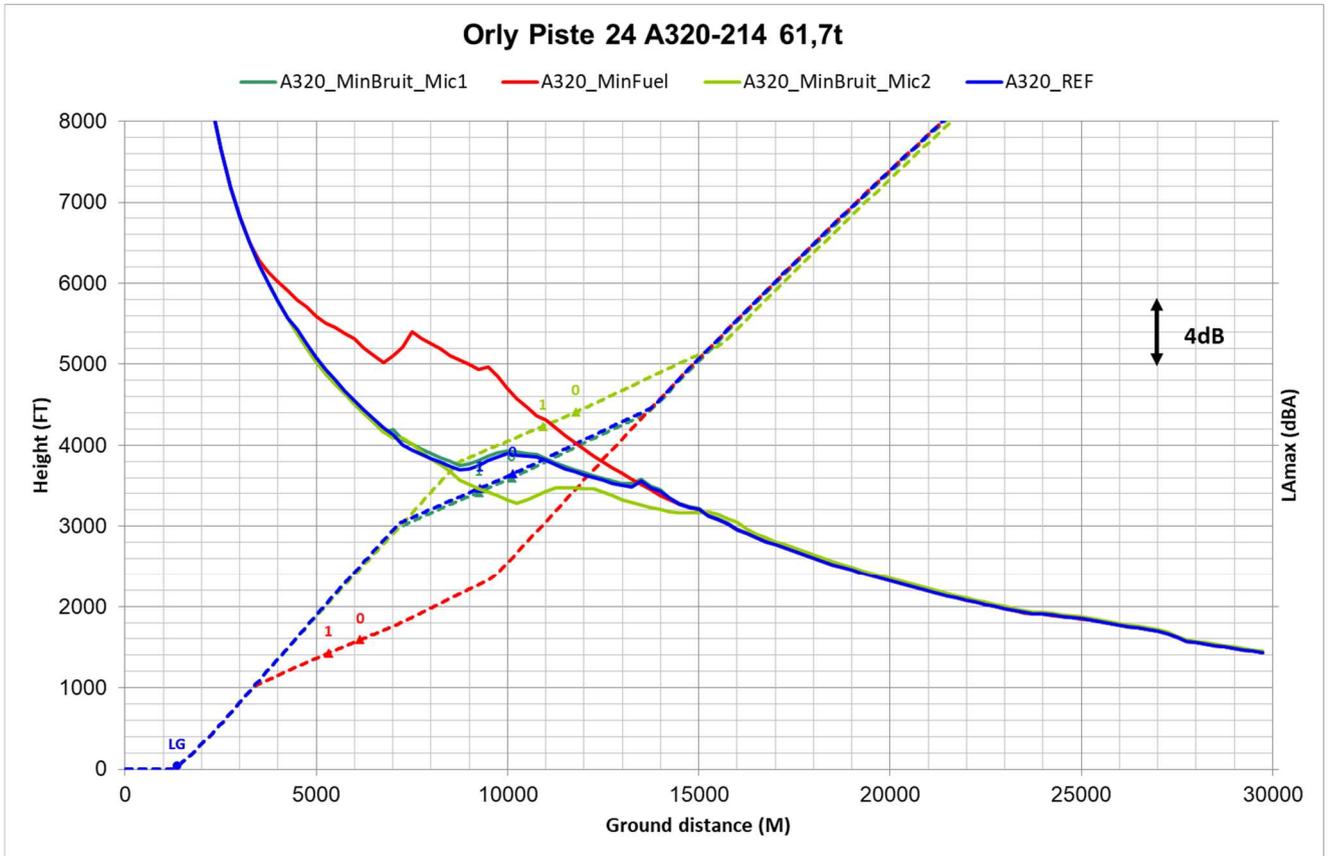
Trajectoire Minimum Bruit sur Micro 2 A320 – Piste 24



Trajectoire Minimum Fuel A320 – Piste 24

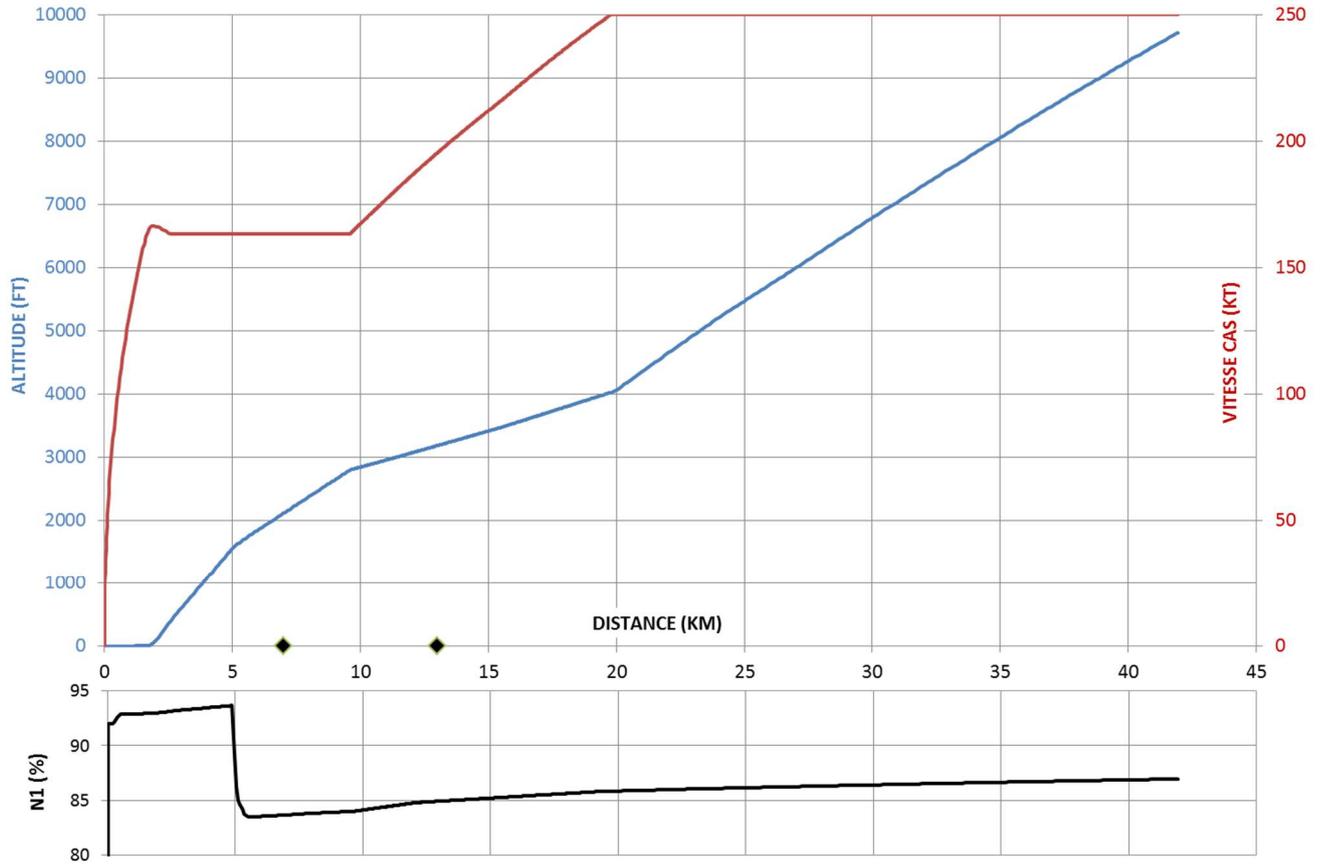


6.4.B. Annexe 12.1 Profils de bruit A320 – Piste 24

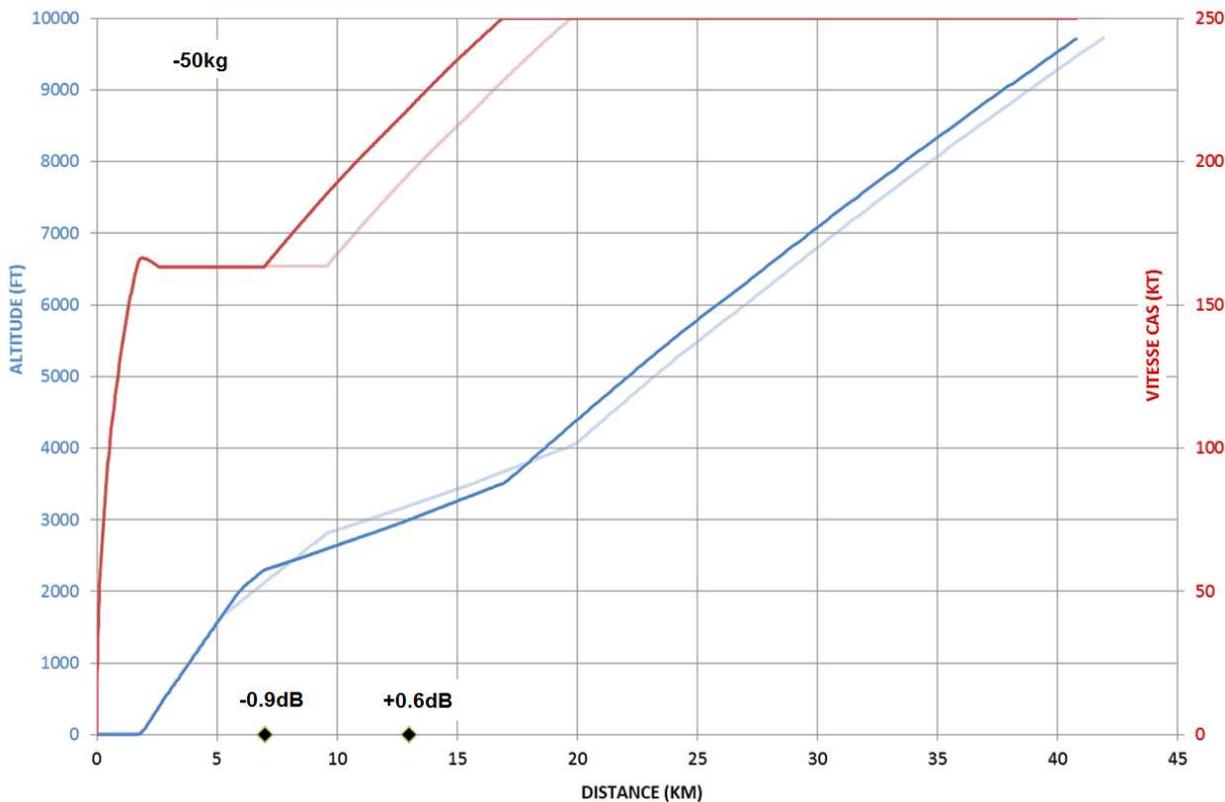


6.4.C. Annexe 13 : Trajectoires A330

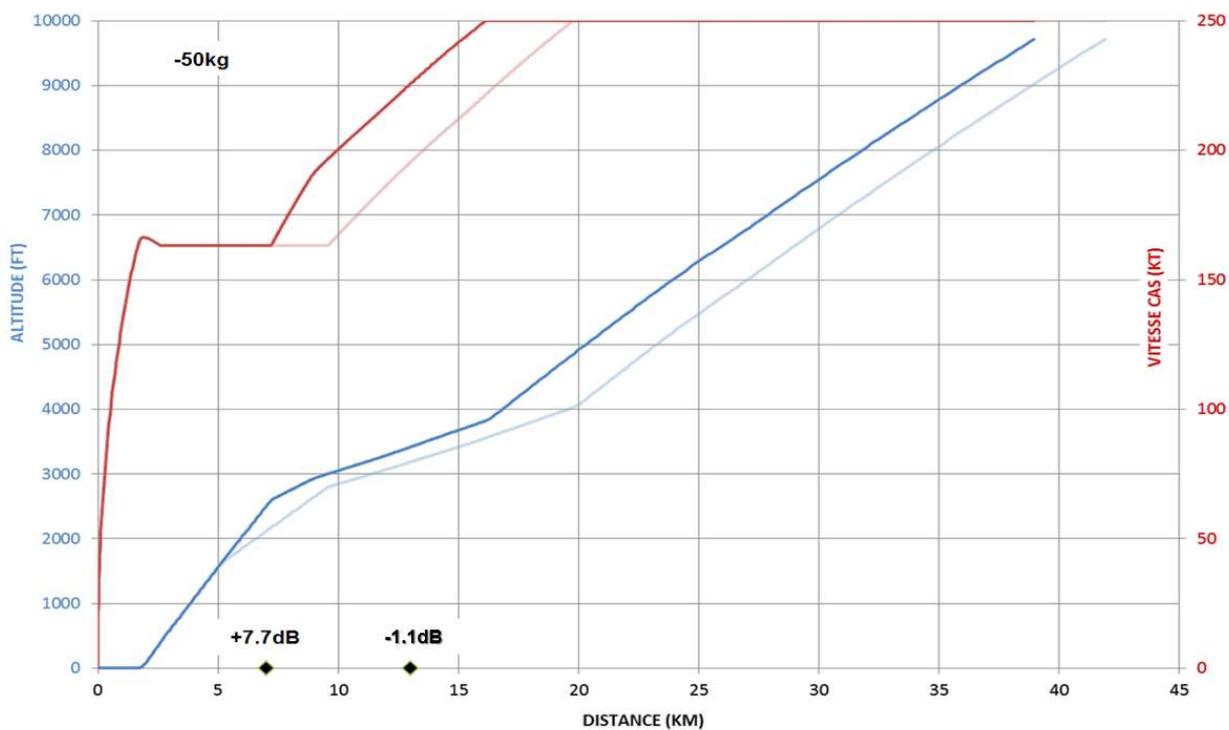
Trajectoire de référence A330 – Piste 24



Trajectoire Minimum Bruit sur Micro 1 A330 – Piste 24

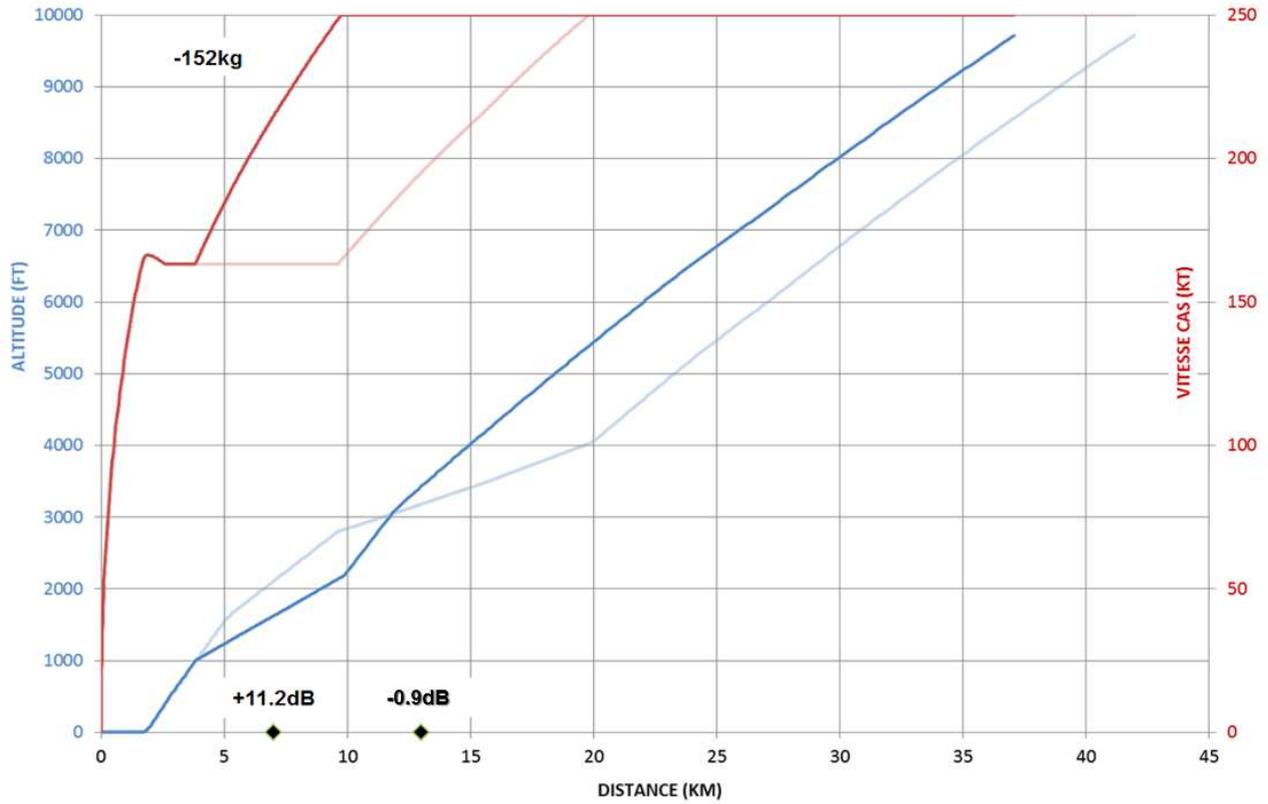


Trajectoire Minimum Bruit sur Micro 2 A330 – Piste 24

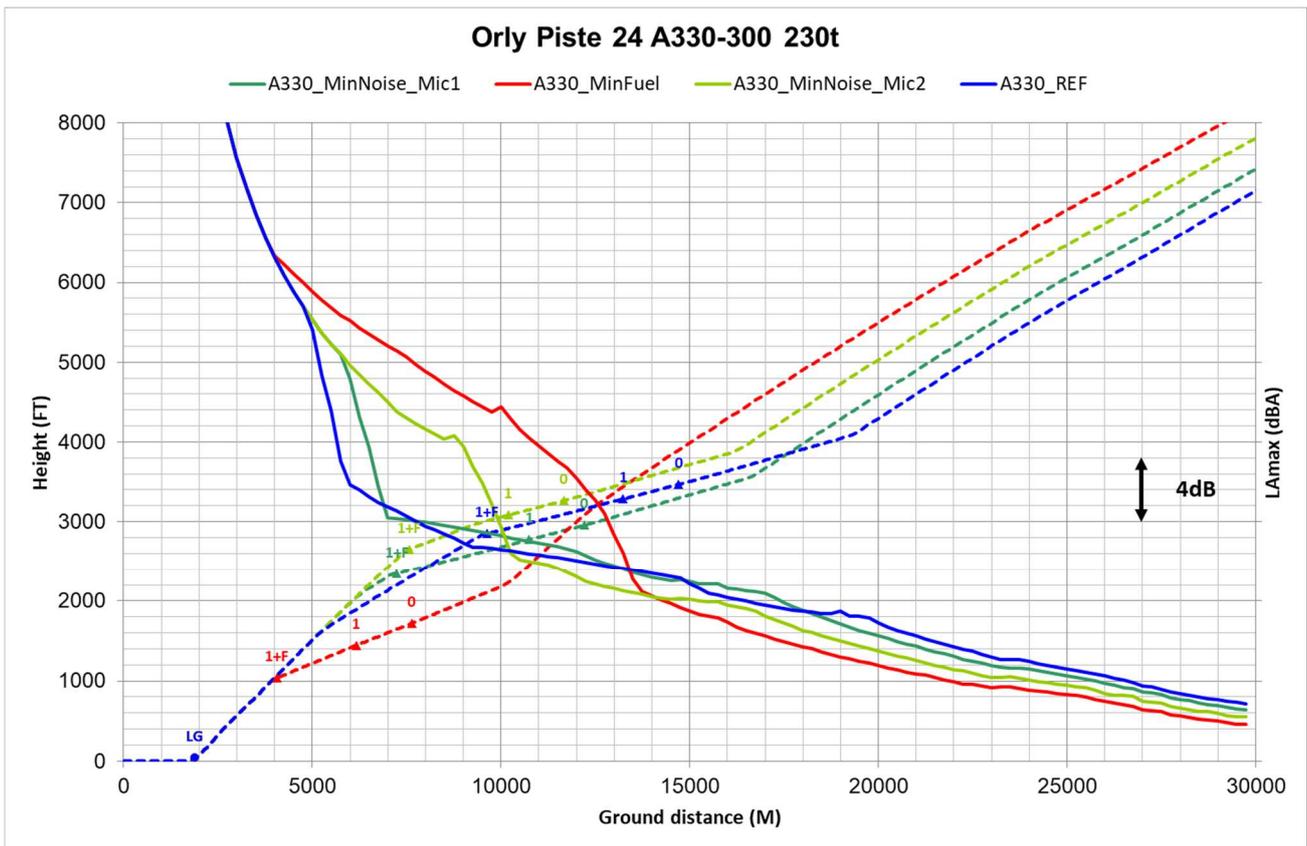


121	RAPPORT DE L'ETUDE D'OPTIMISATION BRUIT AEROPORT D'ORLY	NAV.B.TEC.18.0088
	DEPARTS PISTES 08 ET 24	4 TH FEB 2019

Trajectoire Minimum Fuel A330 – Piste 24



6.4.D. Annexe 13.1 : Profiles de bruit A330 - Piste 24



123	RAPPORT DE L'ETUDE D'OPTIMISATION BRUIT AEROPORT D'ORLY	NAV.B.TEC.18.0088
	DEPARTS PISTES 08 ET 24	4 TH FEB 2019

6.4.E. Annexe 14 : Tableau des solutions pour Micro 1 A350 – Piste 24

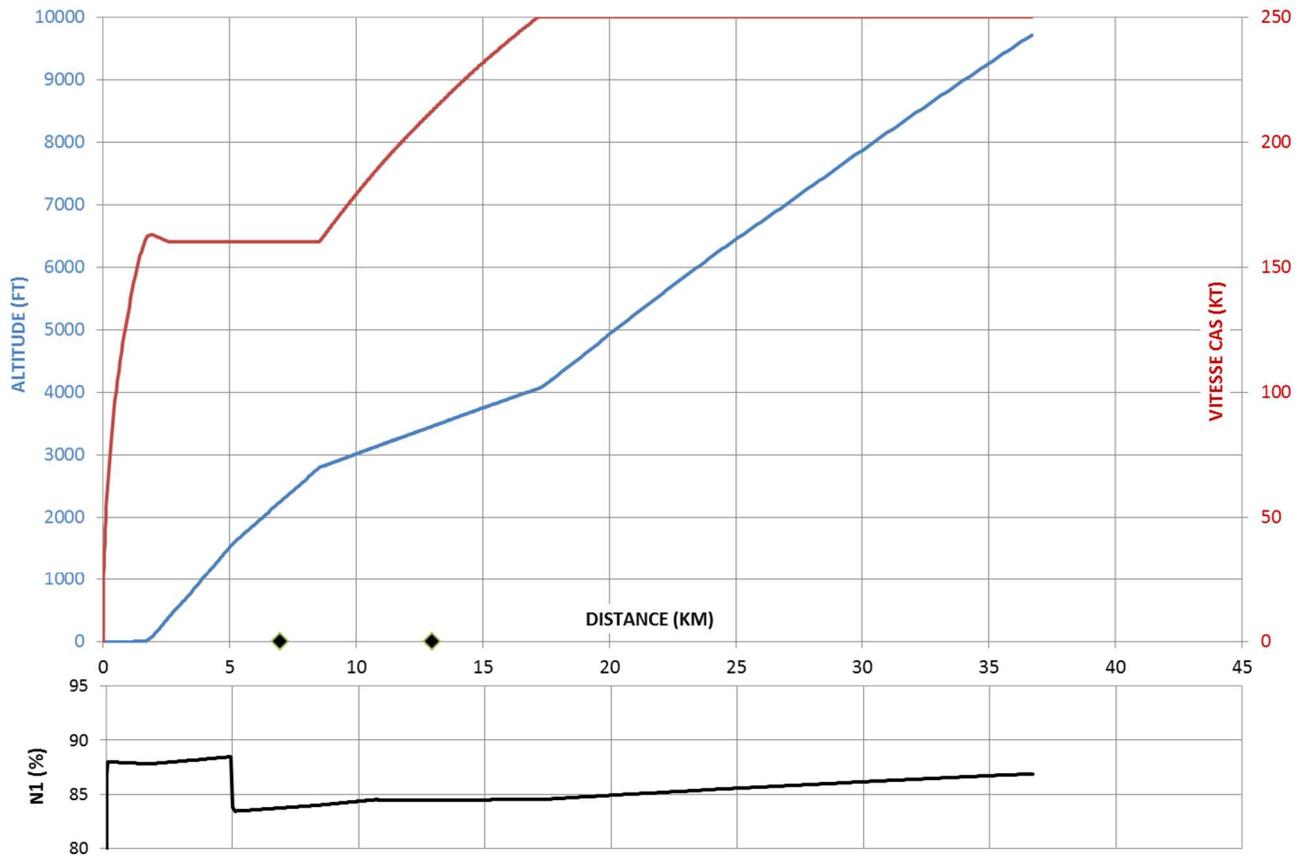
scenario	ZPred (FT)	N1 (%)	ZPacel (FT)	Vnoise (KT)	ZPfinal (FT)	DELTA BRUIT (dB)	DELTA FUEL (KG)
1	1900	82.8	2300	230	3300	-1.0	-22.5
2	1900	82.6	2200	235	3200	-0.9	-28.5
3	1900	82.6	2150	230	3250	-0.7	-29.4
4	1900	82.8	2150	235	3200	-0.6	-32.0
5	1900	82.6	2100	235	3150	-0.6	-33.7
6	1850	81.2	1800	235	2900	-0.5	-45.2
7	1850	81.6	1800	235	3050	-0.3	-45.9
8	1800	81.6	1750	235	3050	-0.2	-47.7
9	1800	82	1750	235	3150	0.0	-48.5
10	1850	82.2	1750	235	3250	0.1	-49.4
11	1850	82	1750	235	3200	0.1	-49.7
12	1850	82.4	1750	235	3300	0.2	-50.0
13	1800	82.4	1700	235	3300	0.3	-52.4
14	1600	81	1500	235	2650	0.4	-58.5
15	1650	81.2	1400	235	2350	0.5	-68.3
16	1650	81.4	1400	235	2350	0.6	-69.0
17	1650	81.6	1400	235	2350	0.7	-69.0
18	1600	81.2	1350	235	2300	0.8	-70.8
19	1450	79.2	1150	235	2200	0.9	-74.0
20	1600	81.2	1300	235	2250	1.1	-74.5
21	1450	79	1100	235	2250	1.1	-76.3
22	1400	80.2	1000	235	1950	1.7	-86.0
23	1400	80.4	1000	235	1950	1.8	-87.3
24	1400	80.8	1000	235	2000	2.0	-87.4
25	1400	81	1000	235	1900	2.1	-88.6
26	1400	81.4	1000	235	2050	2.3	-89.1
27	1400	81.8	1000	235	2000	2.6	-89.8
28	1400	82	1000	235	1850	2.7	-90.0
29	1450	81.8	1000	235	2000	3.6	-90.3
30	3000	80.4	1100	235	3050	6.8	-91.1
31	3000	80.2	1050	235	3050	7.0	-93.1
32	3000	80.4	1000	235	3050	7.2	-95.6

6.4.F. Annexe 15 : Tableau des solutions pour Micro 2 A350 – Piste 24

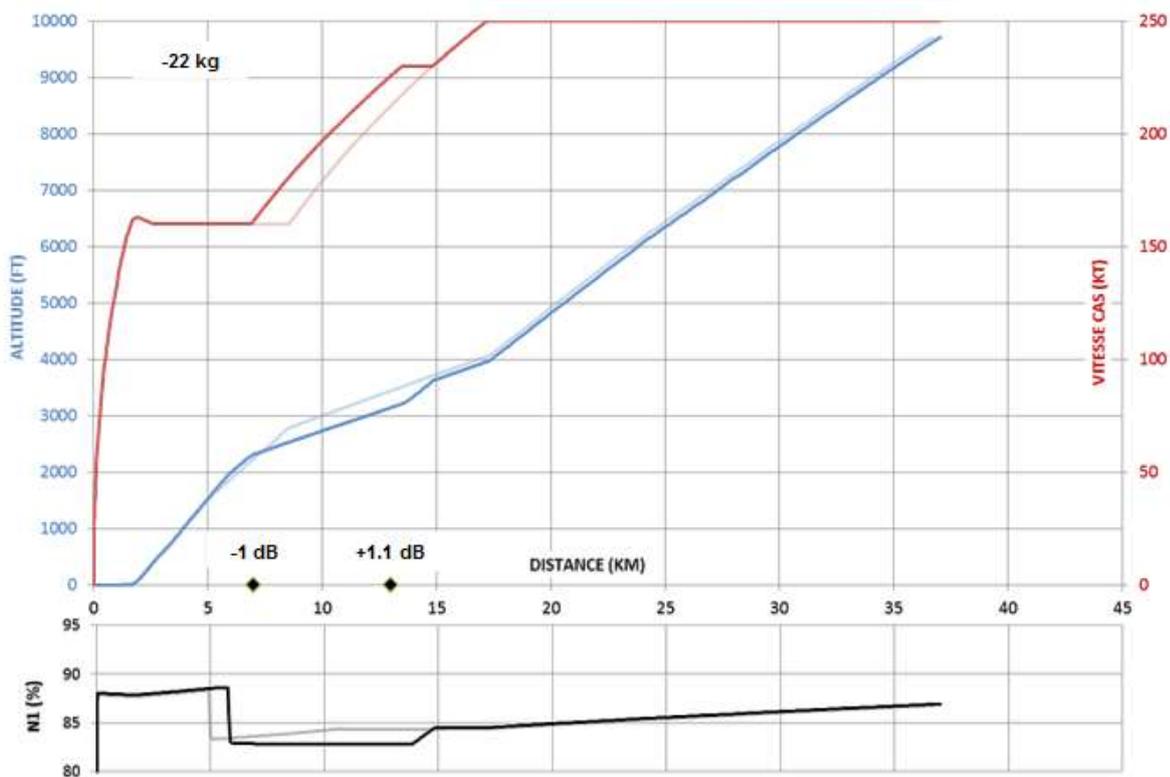
scenario	ZPred (FT)	N1 (%)	ZPaccel (FT)	Vnoise (KT)	ZPfinal (FT)	DELTA BRUIT (dB)	DELTA FUEL (KG)
1	3000	79.4	1000	205	4100	-5.3	-40.8
2	3000	79.6	1000	205	4150	-5.2	-41.0
3	2950	79.4	1000	205	4050	-5.2	-41.2
4	3000	79.2	1000	210	4000	-5.2	-49.2
5	3000	79.2	1000	210	4050	-5.2	-49.5
6	3000	79.4	1000	210	4000	-5.1	-50.0
7	3000	79	1000	215	3950	-5.1	-57.2
8	3000	79	1000	215	3900	-5.1	-58.3
9	3000	78.8	1000	215	3850	-5.1	-58.8
10	3000	79.2	1000	215	3900	-5.0	-59.4
11	3000	79.4	1000	215	4150	-5.0	-62.0
12	3000	78.8	1000	220	3950	-5.0	-64.6
13	2950	79.2	1000	220	3900	-4.8	-66.3
14	3000	79.4	1000	220	3950	-4.8	-66.6
15	3000	79.6	1000	220	4100	-4.7	-73.0
16	3000	80.6	1000	225	3650	-3.4	-80.4
17	2950	80.6	1000	230	3550	-3.1	-86.7
18	3000	80.4	1000	235	3450	-2.9	-91.3
19	3000	79.6	1000	230	3050	0.2	-92.1
21	3000	79.4	1000	235	3050	0.4	-95.4

6.4.G. Annexe 16 : Trajectoires A350

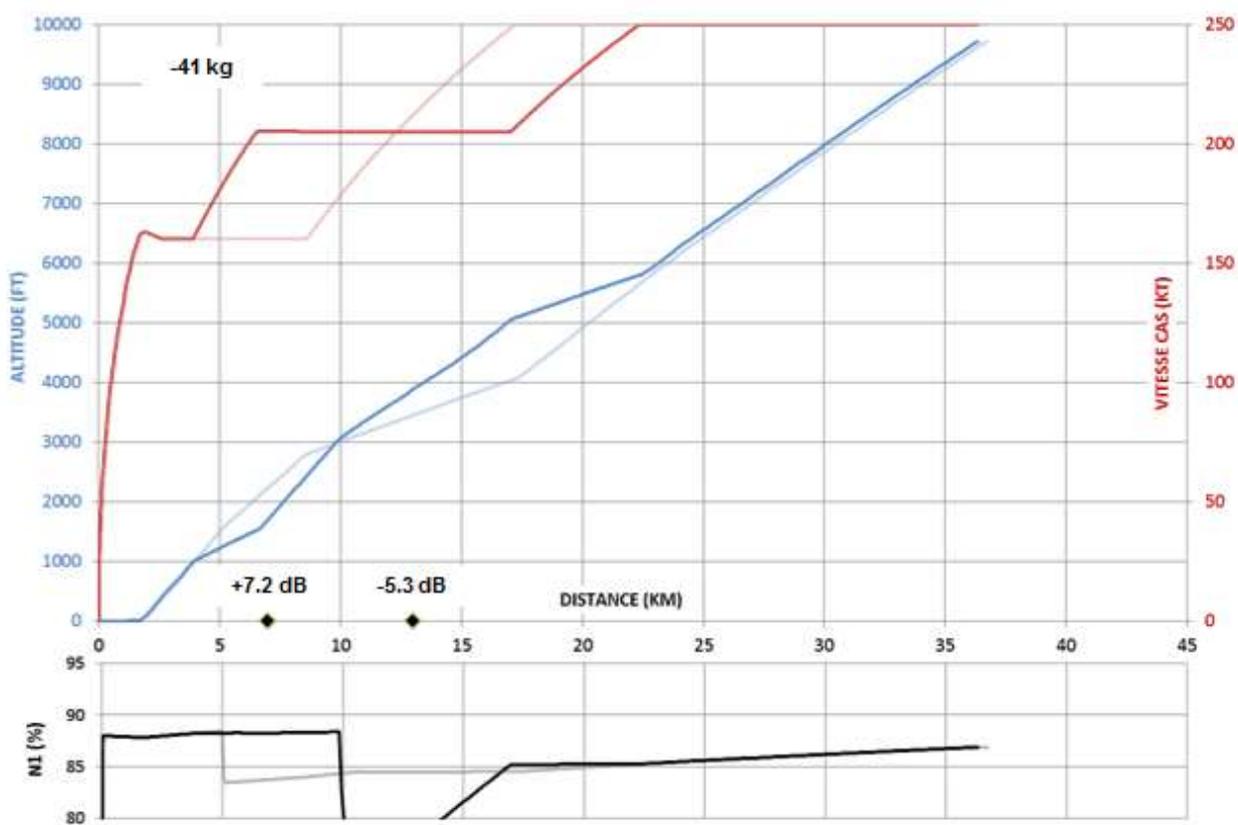
Trajectoire de référence A350 – Piste 24



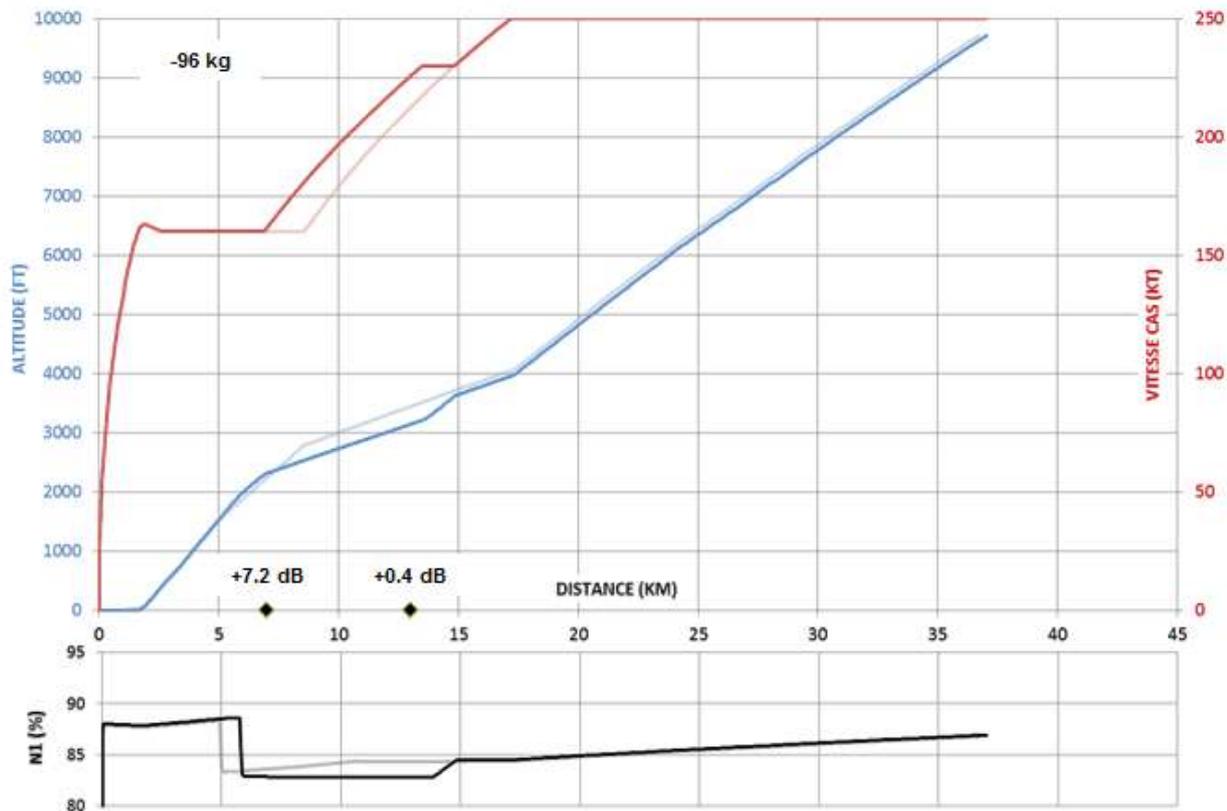
Trajectoire Minimum Bruit sur Micro 1 A350 – Piste 24



Trajectoire Minimum Bruit sur Micro 2 A350 – Piste 24



Trajectoire Minimum Fuel A350 – Piste 24



6.4.H. Annexe 16.1 : Profils de bruit A350 – Piste 24

