



Partnership for AiR Transportation Noise and Emission Reduction
An FAA/NASA/TC-sponsored Center of Excellence

Aperçu de la recherche sur les émissions des opérations aériennes de PARTNER

Ian A. Waitz
Directeur de PARTNER

**Atelier OACI/Transports Canada sur les mesures
d'exploitation en aéronautique relatives à la réduction de
la consommation de carburant et des émissions**

Montréal, Canada, 20 et 21 septembre 2006

Aperçu



- Description de PARTNER
- Aperçu : Recherche sur les émissions des opérations aériennes
- Exemple : améliorer la modélisation des émissions pour l'étude RVSM
- Résumé

Vision de PARTNER



William James Warren/CORBIS

- Un organisme de recherche de calibre international...
 - ...qui se préoccupe étroitement des besoins nationaux et internationaux
 - ...qui optimise les capacités d'un vaste éventail d'intervenants
 - ...qui promeut les progrès décisifs sur les plans de la technologie, de l'exploitation, des politiques et de la main-d'œuvre
 - ...afin d'améliorer la mobilité, l'économie, la sécurité nationale et l'environnement

Universités de PARTNER

10 établissements et plus de 90 étudiants



- Boise State University (BSU)
- Florida International University (FIU)
- Georgia Institute of Technology (GT)
- Massachusetts Institute of Technology (MIT)
- Pennsylvania State University (PSU)
- Purdue University
- Stanford University
- University of Central Florida (UCF)
- University of Missouri at Rolla (UMR)
- York University

(ainsi que des travaux supplémentaires effectués par Harvard University, University of North Carolina et Reading University)



Republié avec l'autorisation de Globe Newspaper Co. Inc.

Commanditaires



FAA Office of Environment and Energy (AEE)



NASA Vehicle Systems Program



Transport
Canada

Transports
Canada

2,7 M \$ pour l'exercice financier 2003/2004

4,2 M \$ pour l'exercice financier 2005

6,4 M \$ pour l'exercice financier 2006

1:1 Partage des coûts pour toutes les subventions fédérales américaines 5

Conseil consultatif : 47 organismes

Industrie/professionnel/communauté (38) + FAA (6), NASA (2) et Transports Canada (1)



- Aerodyne Research Inc. (ARI)
- Aerospace Industries Association (AIA)
- Airbus
- Air Transport Association of America (ATA)
- Airports Council International – North America (ACI-NA)
- American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA)
- Bay Area Air Quality Management District (BAAQMD)
- Bell Helicopter Textron
- The Boeing Co.
- Bombardier
- Cessna Aircraft, A Textron Company
- Delta Airlines
- Environmentally Compatible Air Transport System Network of Excellent (ECATS)
- FAA Airports and Environmental Law Division (FAA AGC)
- FAA Air Traffic Environmental Programs Division (FAA ATA-300)
- FAA Centers of Excellence (FAA AAR-400)
- FAA Community and Environmental Needs Division (FAA APP-600)
- FAA Flight Standards (FAA AFS)
- FAA Office of Environment and Energy (FAA AEE)
- General Electric Aircraft Engines (GEAE)
- Gulfstream Aerospace Corp.
- Harris, Miller, Miller & Hanson, Inc. (HMMH)
- Indiana Dept. of Transportation (INDoT)
- Lockheed Martin Aeronautics Co. (LMCO)
- Logistics Management Institute (LMI)
- Lyons, Richard, Consultant
- Massachusetts Port Authority (Massport)
- Metron Aviation
- Metropolitan Washington Airport Authority (MWA)
- NASA Radiation Sciences Program
- NASA NASA Aeronautics Research Mission Directorate
- National Organization to Insure a Sound-controlled Environment (NOISE)
- O'Hare Noise Compatibility Commission
- Palisades Citizens Association
- Pratt & Whitney (P&W)
- Raisbeck Engineering
- Rannoch Corp.
- Regional Airport Authority of Louisville and Jefferson County (RAA)
- Rolls Royce (RR)
- San Francisco International Airport/Community Roundtable
- Sikorsky Aircraft
- Snecma
- Transports Canada
- United Parcel Service (UPS)
- United States Dept. of Transportation (US DoT) Volpe National Transportation Systems Center (TSC)
- United States Environmental Protection Agency (US EPA) National Risk Management Research Laboratory (NRMRL)
- Wyle Laboratories

Portfolio de recherche : trois plans détaillés

(Incitatifs, buts, objectifs, défis, approches)



Bruit

Fournir des prédictions quantitatives et des évaluations qualitatives du bruit des aéronefs et de ses impacts, et contribuer à des stratégies d'atténuation en tenant compte de toutes les interdépendances

Émissions

Fournir des prédictions quantitatives des émissions des aéronefs et de leurs impacts et contribuer à des stratégies d'atténuation en tenant compte de toutes les interdépendances

Interdépendances

Favoriser de meilleures communications et prises de décisions en tenant compte des interdépendances des effets environnementaux de l'aviation et en étant capable de bien évaluer les avantages et les coûts des interdépendances des politiques, des technologies, des procédures opérationnelles et des conditions du marché

Activités choisies en regard des émissions



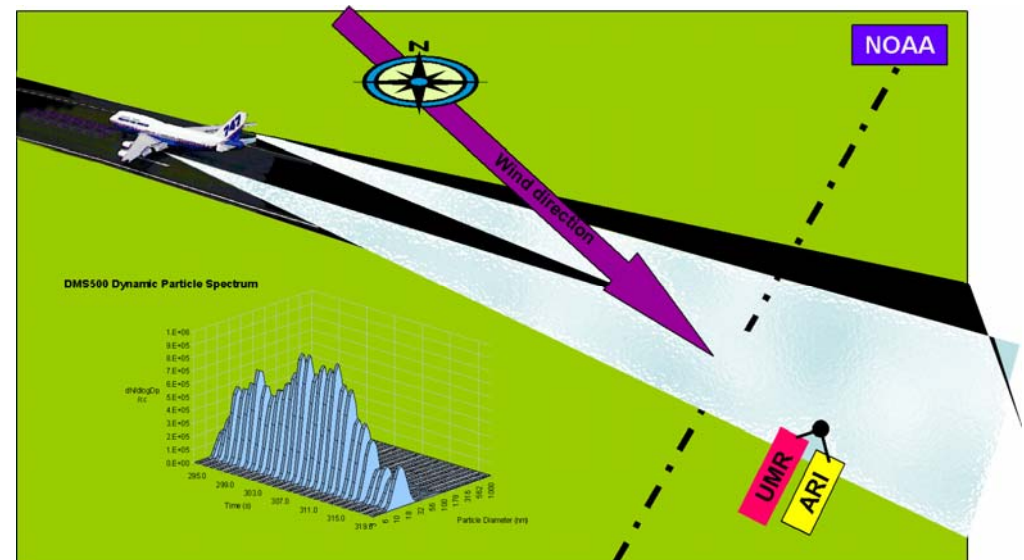
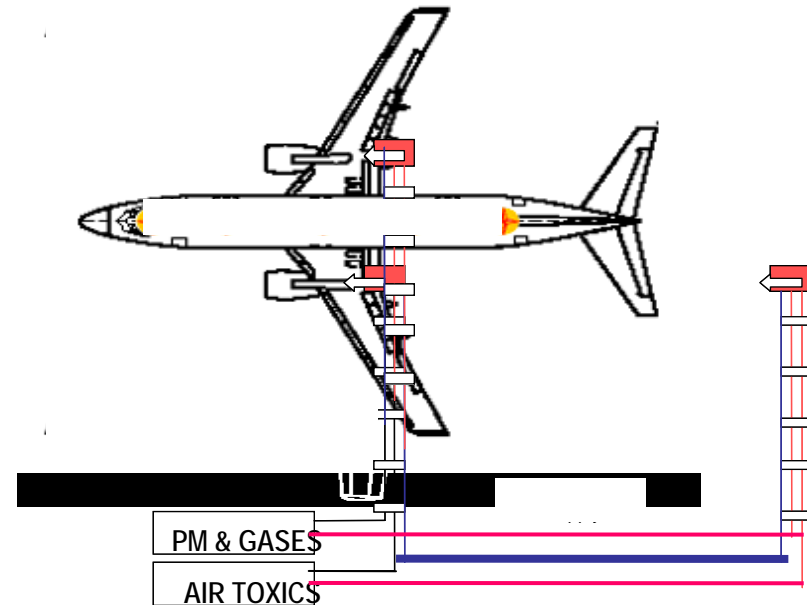
- Modélisation et mesures des émissions gazeuses et de particules
- Études sur l'approche en descente continue
- Étude sur les opérations en route
- Étude sur la loi américaine Energy Policy Act
 - Opérations au sol et en zone terminale
- Outil de gestion du portfolio environnemental en aviation
 - Exemple de problème, la réduction de poussée
- Analyse de la réduction de poussée pour les opérations du B777 d'American Airlines, Inc. aux aéroports de Heathrow et de Gatwick
- Contribution à la mise au point et à l'application du système de la FAA pour évaluer les émissions aéronautiques totales (SAGE)
 - Modélisation de la consommation de carburant et des émissions
 - Estimation des traînées de condensation
 - Analyse des minimums réduits d'espacement vertical (RVSM)

Mesures des émissions des avions

(personne ressource : Phil Whitefield, pwhite@umr.edu)



- Principales compagnies aériennes des États-Unis
- Principaux aéroports (É.-U.)
- Centaines d'avions mesurés
 - En exploitation
 - Après les heures de service
- Méthodes de mesure comparées et évaluées
- Comportement modélisé des particules et polluants précurseurs
- Comportement mesuré et modélisé du panache
- Utilisé pour améliorer l'outil EDMS de la FAA

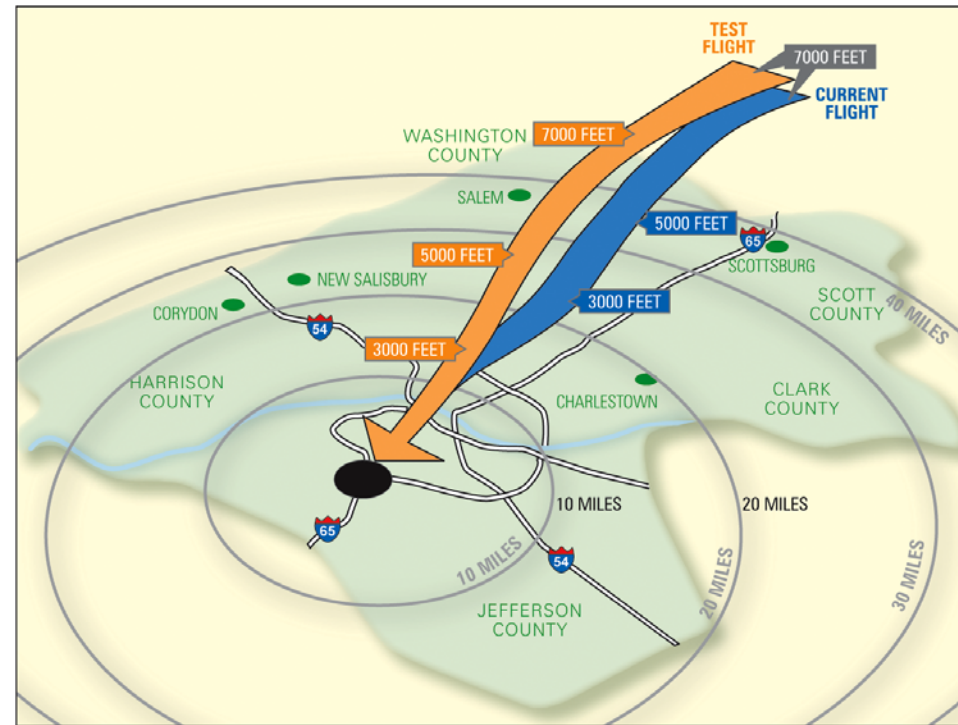


Approche en descente continue

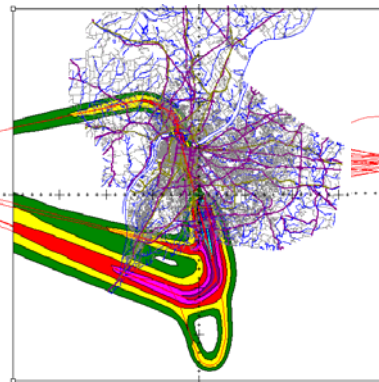
(pers. ress. : John-Paul Clarke, john-paul.clarke@ae.gatech.edu)



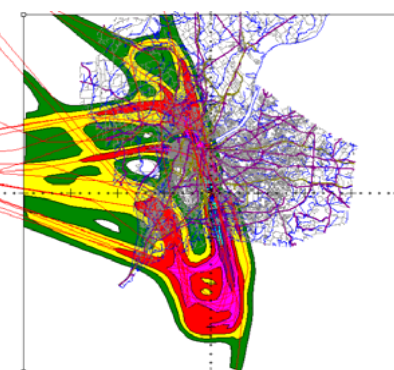
- MIT, FAA, NASA, UPS, Aéroport de Louisville
- 125 avions UPS
- Réduction bruit 3 à 6 dB
- Réduction NO_x 35 %
- Réduction CO₂ 13 à 20 %
- Réduction UHC 11 à 25 %
- Réduction carburant >120 lb
- Réduction temps de vol 2 à 3 min.
- Mise en œuvre par UPS



ADC



Base de référence



Optimisation du trafic en route

(pers. ress. : John-Paul Clarke, john-paul.clarke@ae.gatech.edu)



- Objectif
 - Élaborer un algorithme afin de démontrer les avantages de l'optimisation du trafic en route
- Approche de recherche
 - Élaborer un modèle mathématique des routes aériennes à l'aide de l'ARTCC de Cleveland
 - Élaborer un prototype d'algorithme d'optimisation en améliorant le programme existant Mixed-Integer Linear Program (MILP) avec un cadre A* Search-based Branch & Bound
 - Effectuer une simulation sur la base des niveaux de trafic actuels et des niveaux de trafic potentiels prévus pour l'avenir
- Résultats
 - Prototypes d'algorithmes
 - Estimation des avantages en regard des émissions, de la consommation de carburant et du temps

Étude de l'Energy Policy Act

(Ian Waitz, iaw@mit.edu, Warren Gillette, warren.gillette@faa.gov)



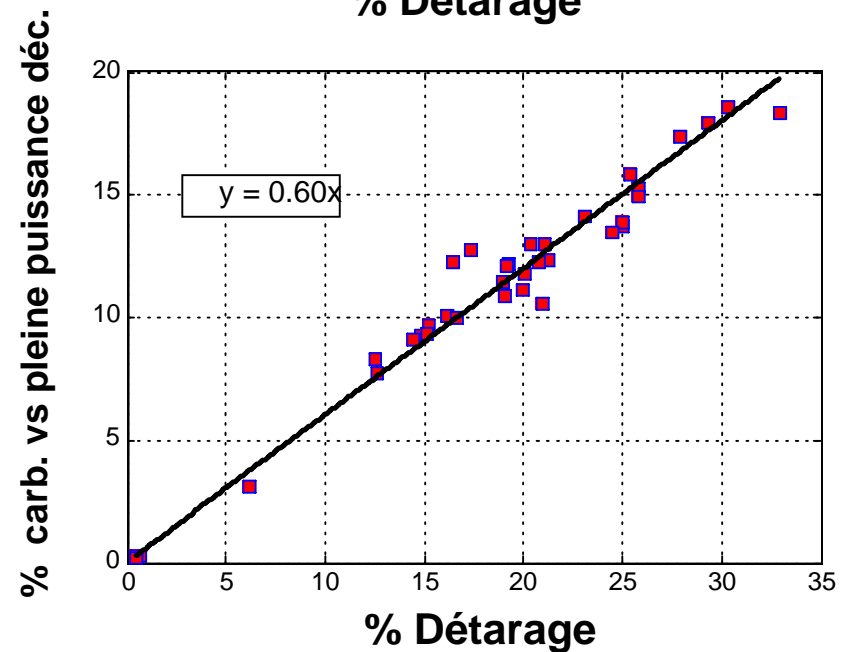
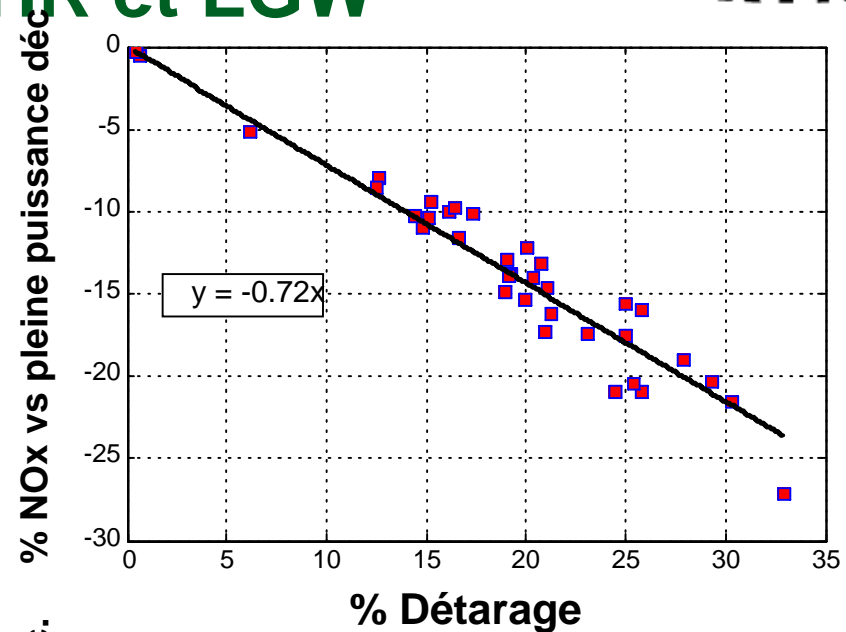
- L' *Energy Policy Act of 2005* exige que la FAA et l'EPA déterminent :
 1. L'impact des émissions des aéronefs sur la qualité de l'air dans les secteurs non conformes;
 2. Des moyens de promouvoir les mesures d'économie du carburant pour l'aviation afin d'améliorer le rendement énergétique et de réduire les émissions;
 3. Les possibilités de réduire les procédures inefficaces de circulation aérienne qui augmentent la consommation de carburant et la production d'émissions polluantes.
- CSSI, Metron, MIT, EPA, FAA, UNC, Harvard, MdT des États-Unis
- EDMS + modélisation de la qualité de l'air locale + évaluation des conséquences sur la santé
- L'étude doit être terminée au début de 2007

Analyse de poussée réduite pour les B777 d'AA exploités à LHR et LGW

(pers. ress. : Ian Waitz, iaw@mit.edu)



- Données des CFDR d'American Airlines analysées
- Rapports :
 - CAEP/7-WG2-TG2/4-5-IP4
 - PARTNER-COE-2005-001 (à <http://www.partner.aero>)



Systeme pour l'évaluation des émissions globales des aéronefs (SAGE)

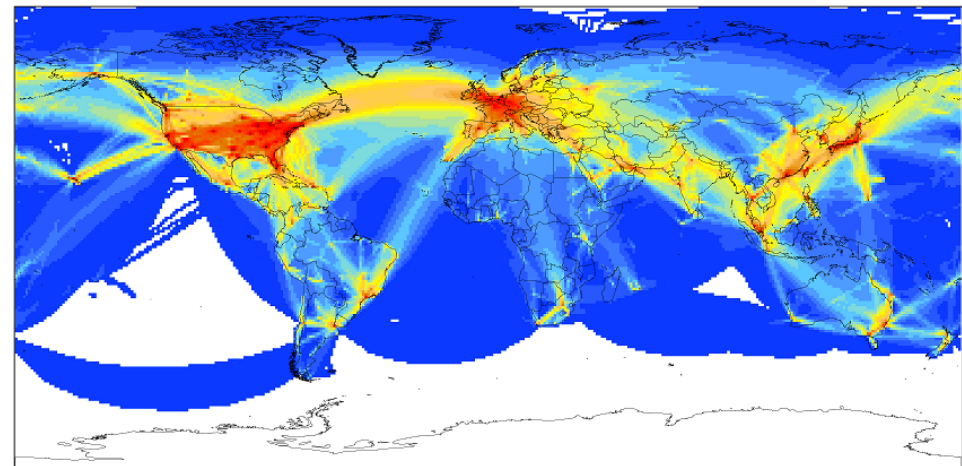


(Ian Waitz, iaw@mit.edu, Gregg Fleming, fleming@volpe.dot.gov)

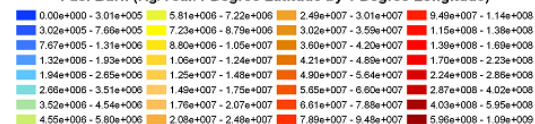
- Estimation du carburant consommé et des émissions produites par les aéronefs commerciaux
 - Étude préparée pour la FAA par Volpe, MIT et LMI
 - 30 millions de vols, 450 types d'aéronefs
 - 40 % des trajectoires de vol proviennent de données radar, 60 % proviennent de l'OAG avec acheminement de dispersion
 - Estimation BADA des perf. des aéronefs et des émissions BM2

Activités de PARTNER :

- Améliorer la modélisation de consommation de carburant et de production d'émissions
- Estimer la formation de traînées de condensation
- Évaluer l'impact d'une réduction de l'espacement vertical minimum (RVSM)



Fuel Burn (Kg/Year/1 Degree Latitude by 1 Degree Longitude)



Exemple : RVSM/carburant et émissions



(personne ressource : Ian Waitz, iaw@mit.edu)

- Études antérieures : FAA ATO (2005), Eurocontrol (2002)
 - Petite augmentation de l'altitude moyenne : 400 pi
 - Petites économies de carburant : 17 à 35 kg/vol
 - Petites réductions d'émissions : 0,7% à 1 % NOx en moins
- Les études antérieures reposaient sur les trajectoires radar des aéronefs dans l'atmosphère type
- Les études antérieures utilisaient la base de données sur les aéronefs d'Eurocontrol (BADA)
 - La BADA a été largement utilisée pour des études de même nature effectuées au sein de l'Union européenne et aux États-Unis

Carburant et émissions : facteurs non considérés



- Influence des conditions météorologiques
- BADA
 - Deux composants de la traînée (induite et visqueuse), mais ne tient pas compte de la traînée d'onde (compressibilité)
 - Le modèle de consommation spécifique (CS) de carburant ne tient pas compte du rapport avec l'altitude ou le niveau de poussée
- Lorsque les données de BADA sont appliquées aux évaluations moyennes des flottes et comparées aux données des compagnies aériennes, on constate qu'elles sont :
 - Exactes (à l'intérieur de 5 %),
 - Mais non précises (erreur jusqu'à 30 % pour pour des vols et des types d'aéronefs donnés)
- **Problème** : les méthodes pourraient ne pas convenir pour l'étude de petites modifications dans les modes d'exploitation
 - P. ex. petit pourcentage de changement dans la consommation de carburant attribuable à un *changement* d'altitude

Étude RVSM Volpe/MIT



- Élaborer et appliquer un modèle de performances amélioré
 - Inclure le modèle de traînée d'onde (compressibilité)
 - Analyser les enregistreurs de données de vol de plus de 2 000 vols
 - Élaborer un modèle de consommation spécifique de carburant amélioré
 - Dériver des coefficients de traînée plus précis
 - Types d'aéronefs analysés jusqu'à maintenant :
 - A319, A320, A321, A330, A340, B757, B767
- Utiliser des données météorologiques assimilées
 - Source : NASA Goddard
 - Couverture : Globale, 1 x 1,25 degré grille
- Utiliser les trajectoires radar ETMS, un mois avant et un mois après l'utilisation des RVSM, pour déterminer l'effet sur :
 - La consommation de carburant
 - La production d'émissions
 - La distribution verticale des émissions

BADA vs méthodes dérivées : traînée



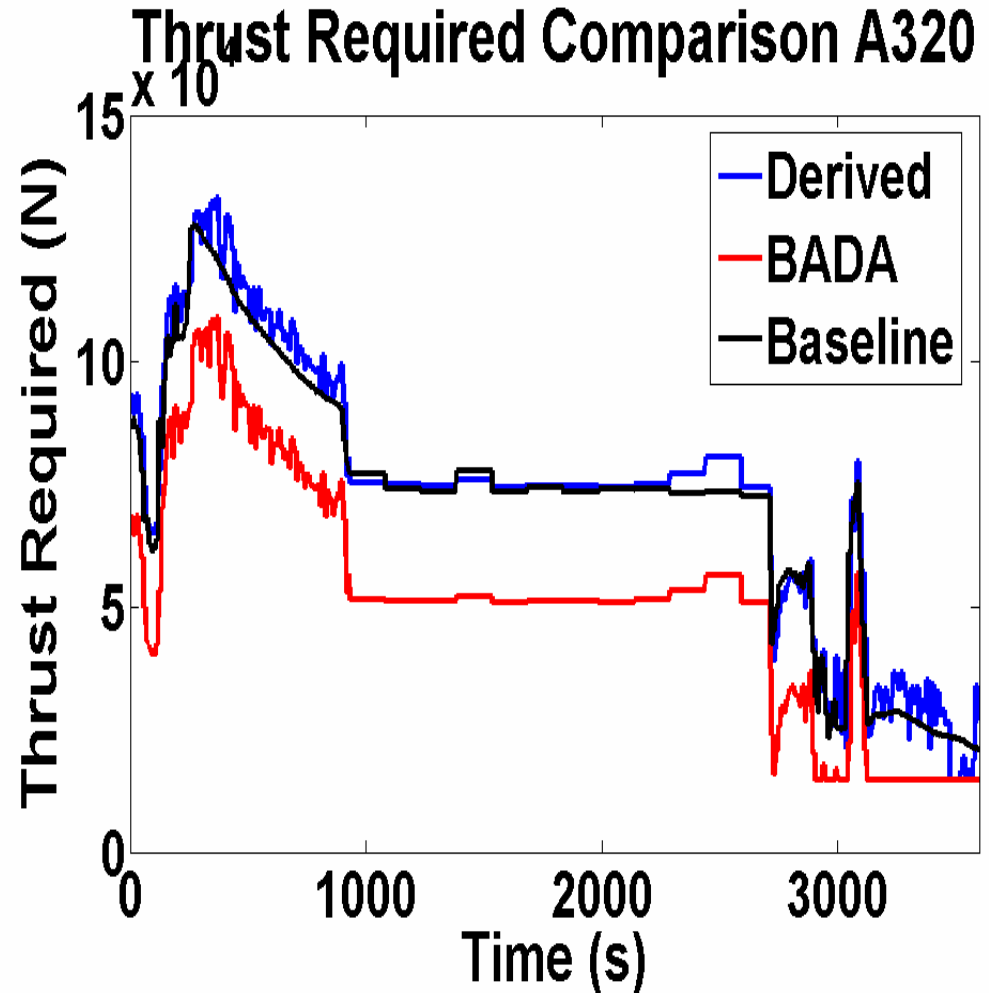
- Méthode de calcul de la traînée :

$$D = (C_{d0} + C_{d2} C_L^2 + \Delta C_{dc}) \left(\frac{1}{2} \rho V^2 S \right)$$

- Limites
 - Erreur magnitudes du coefficient
- Exemple : A320

	Dérivée	BADA
C_{d0}	0.0316	0.0240
C_{d2}	0.0887	0.0375

- Traînée induite :
 - 0,0375 nécessiterait théoriquement un allongement de 12, alors qu'il est réellement de 9,4

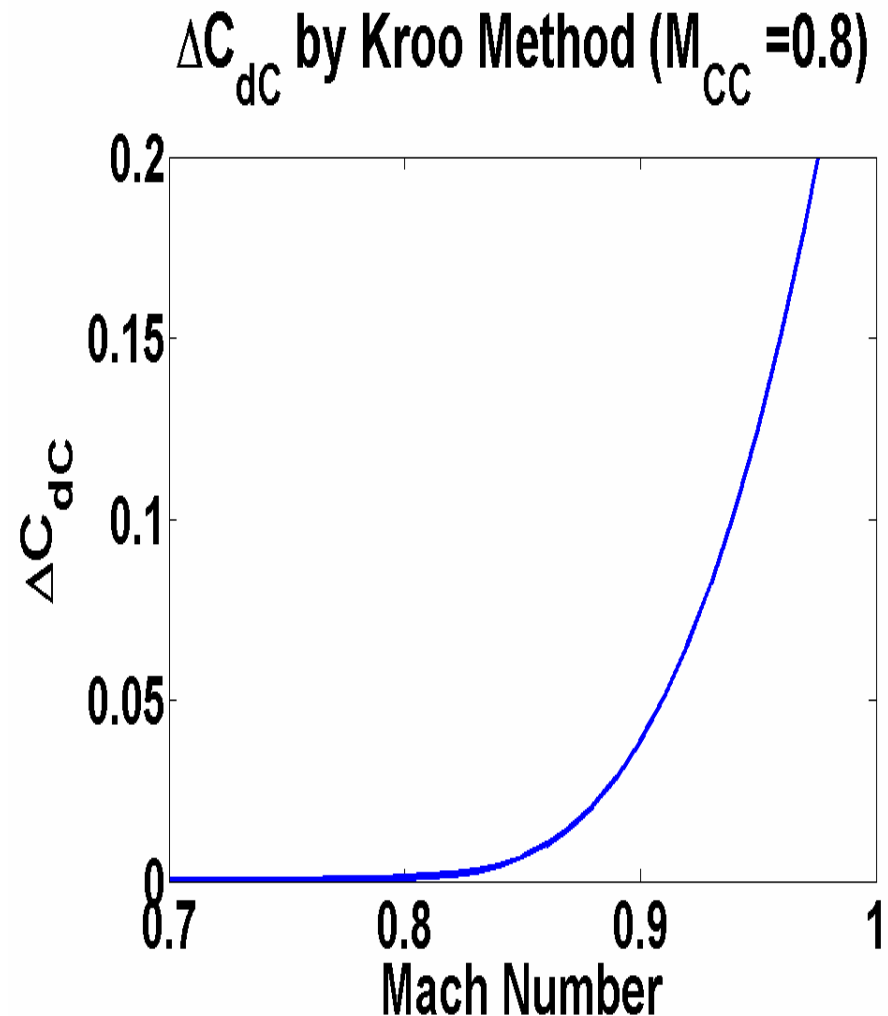


Facteur de compressibilité

$$\Delta C_{dC}$$



- Méthode de calcul de la correction :
 - Méthode Kroo
 - Morceaux définis
 - Troisième ordre comme fonction du nombre de Mach
 - Utilise BADA pour déterminer M_{cc}
- Jusqu'ici, l'analyse indique que les nombres de Mach en croisière de BADA sont un substitut valide pour M_{cc}



BADA vs méthodes dérivées : consommation de carburant



- Méthode calcul carburant BADA :

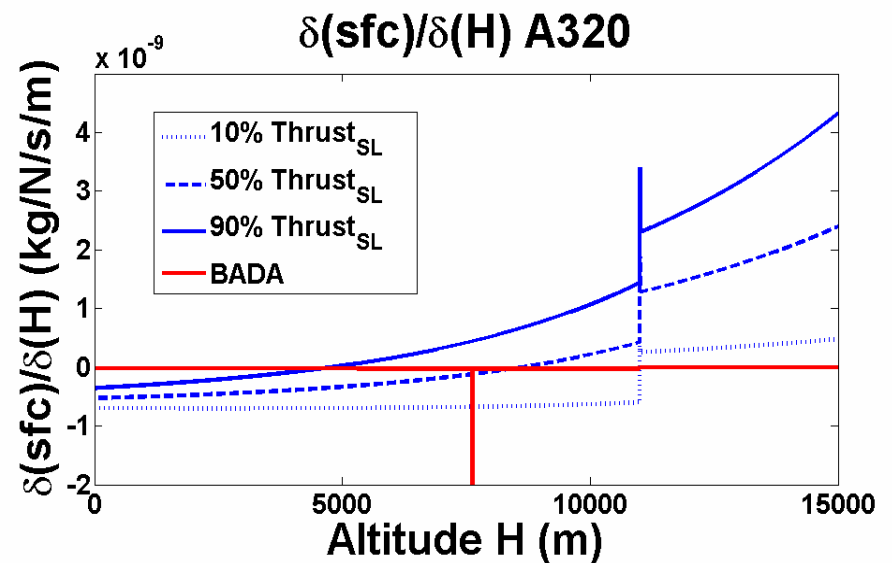
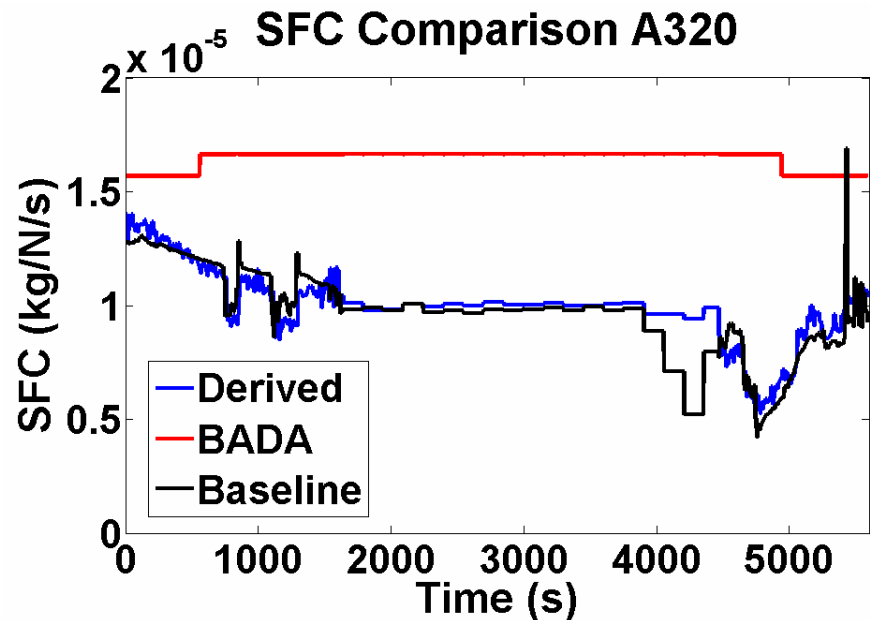
$$sfc = \frac{C_{f1}}{60000} \left(1 + \frac{1.9438V}{C_{f2}} \right) C_{fcr} Thrust$$

- Limite
 - Pas de corrélation avec l'altitude ou la poussée

- Méthode calcul carburant dérivée :

$$sfc = \alpha + \beta_1 \left(\sqrt{\frac{T_i}{288.15}} \right) + \beta_2 \left(\frac{V_i}{250} \right) + \beta_3 \left(\frac{Thrust_i}{Max_Thrust_{SL}} \frac{P_{SL}}{P_i} \right)$$

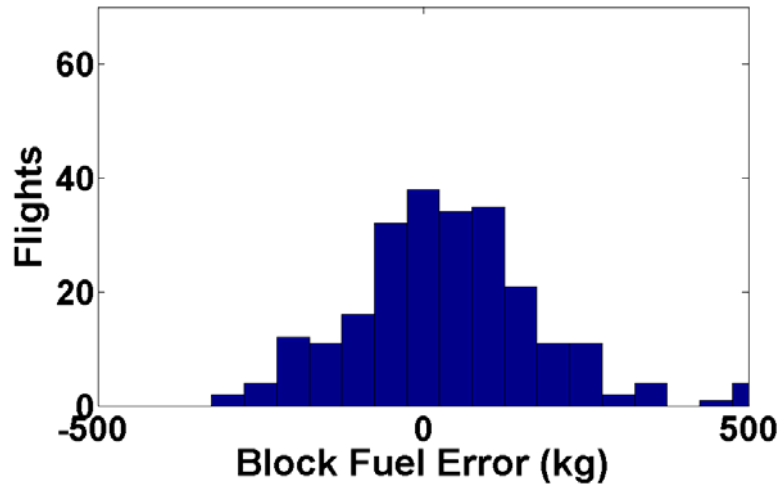
- Fonction de :
 - Température
 - Pression
 - Vitesse
 - Poussée



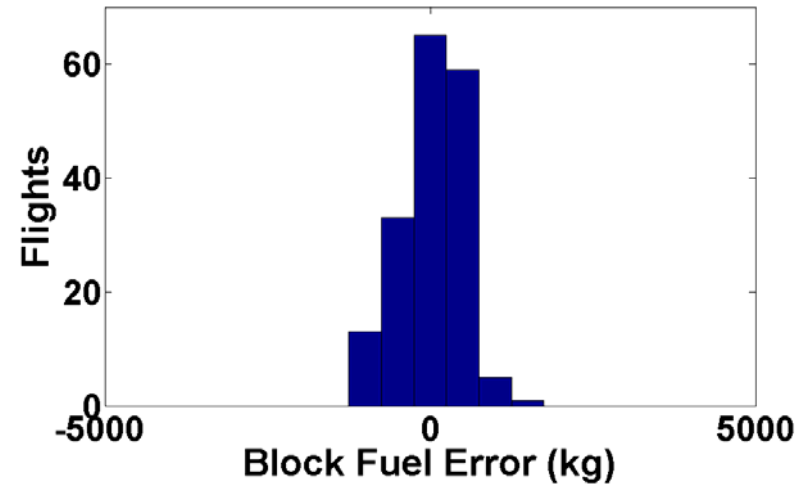
Comparaison de la consommation de carburant cale à cale



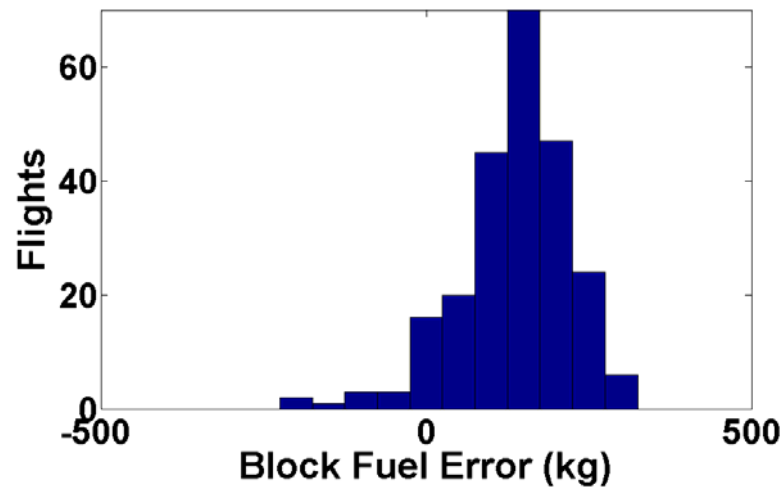
Block Fuel Error Derived Method A320



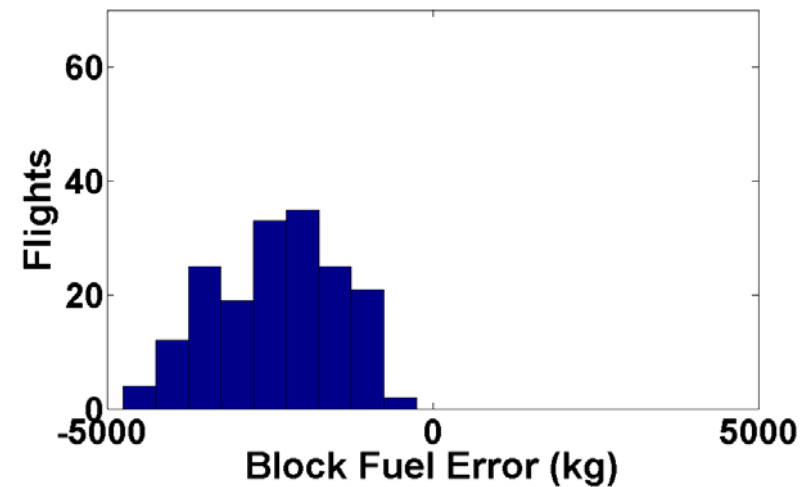
Block Fuel Error Derived Method B757



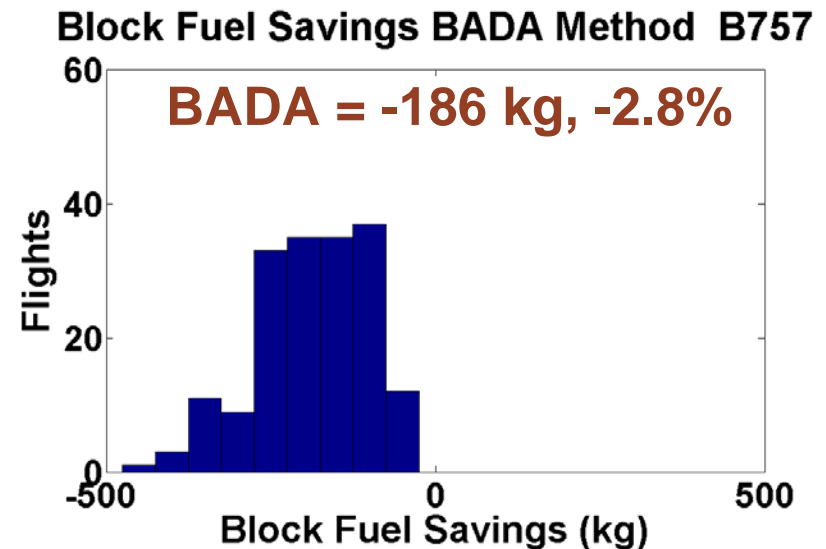
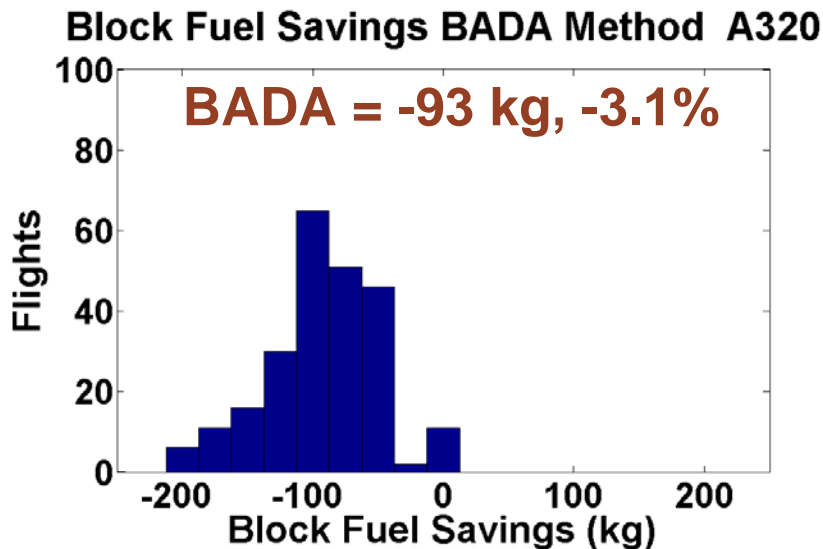
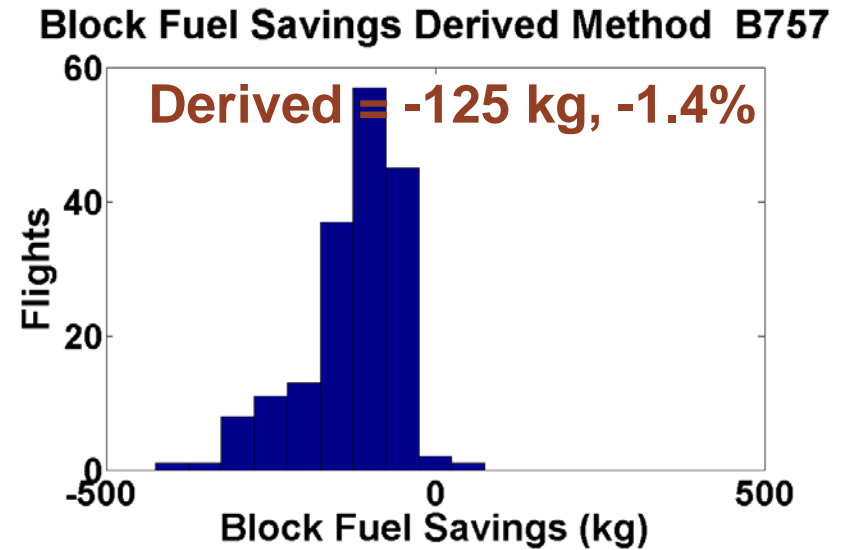
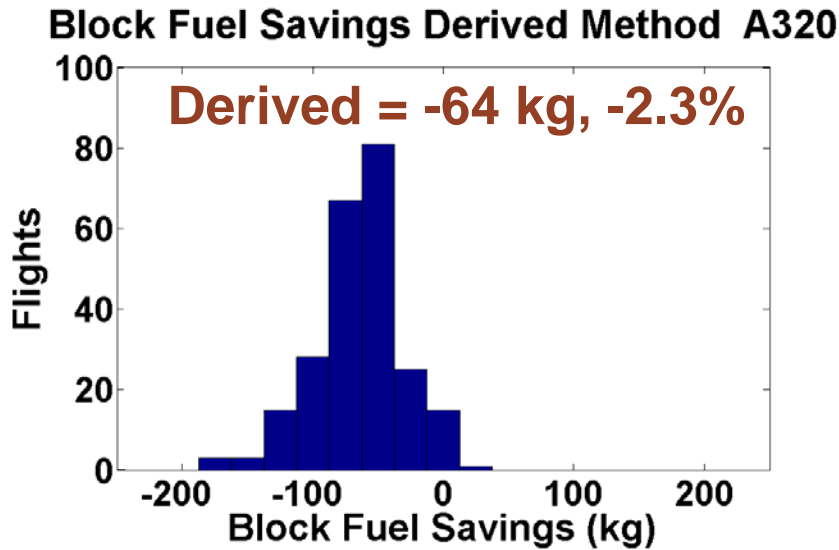
Block Fuel Error BADA Method A320



Block Fuel Error BADA Method B757



Exemple de résultats pour une augmentation de 1 000 m de l'altitude de croisière



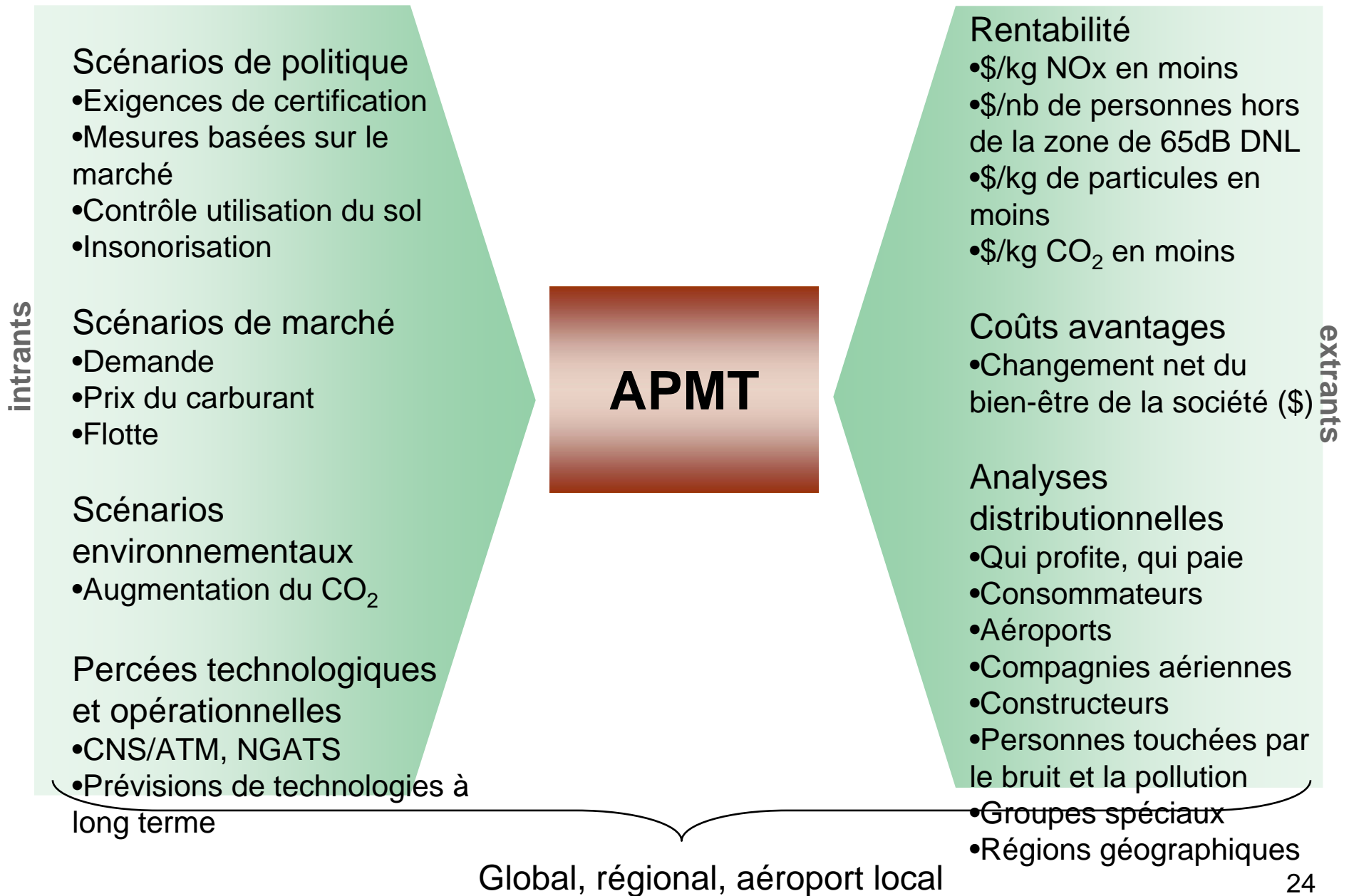
Outil de gestion du portfolio environnemental de l'aviation (APMT)

(Ian Waitz, iaw@mit.edu, Maryalice Locke, maryalice.locke@faa.gov)



- Suite modulaire d'outils visant à favoriser l'élaboration d'une **politique mieux informée par l'intermédiaire d'une analyse environnementale et économique rigoureuse**
 - Bruit, qualité de l'air locale et changements climatiques
 - Interdépendances
 - Comptabilisation plus complète des coûts et avantages
- Comprend
 - Modèle économique d'équilibre partiel des marchés aéronautiques
 - Programme Environmental Design Space (EDS) pour les secteurs d'activité de niveau système des aéronefs
 - Outil de conception environnementale d'aviation (AEDT)
 - Émissions globales et locale (SAGE et EDMS)
 - Bruits globaux et locaux (MAGENTA et INM)
 - Estimation des conséquences sur la santé et le bien-être du bruit, de la qualité de l'air locale et des changements climatiques
- Équipe de travail
 - MIT, GaTech, MVA, Vital Link Policy Analysis, BB&C, Wyle Laboratories, MdT des É.-U. Volpe, Harvard School of Public Health, Univ. of North Carolina, MITRE, FAA

Aperçu de l'APMT



Évaluation du prototype APMT

- Comparaison avec AERO-MS
- Analyse statistique formelle d'incertitude et de propagation des mesures au niveau du système
- Examen expert de certains composants/modules
- Capacité de démonstration des problèmes
 - Variation des prix du carburant (avec et sans aéronefs EDS)
 - Rigueur de la technologie NOx (avec et sans aéronefs EDS)
 - Élimination graduelle du bruit
 - **Décollage à poussée réduite** (conforme à l'exemple de problème défini par *CAEP-SG/20063-WP/30*)

Résumé



- Il existe des besoins pressants dans les domaines de l'aviation et de l'environnement
- PARTNER possède une équipe solide (~ 200 personnes)
- 3 années d'existence
- De nombreux programmes de recherche
 - Bruit - émissions - interdépendances
- Un forum de plus en plus populaire pour les questions liées à l'aviation et à l'environnement
- ***Communiquez avec nous au sujet de PARTNER***
 - Ian Waitz (directeur), iaw@mit.edu
 - Jennie Leith (coordinatrice du programme), jennie@mit.edu
 - Bill Litant (directeur des communications), wlitant@mit.edu
 - Site Web : <http://partner.aero>