

**ATELIER SUR LES MESURES OPÉRATIONNELLES
VISANT AUX ÉCONOMIES DE CARBURANT ET À LA
RÉDUCTION DES ÉMISSIONS EN AÉRONAUTIQUE**



Économies de carburant

Procédures opérationnelles dans un souci de meilleur rendement environnemental



Dave Anderson

Ingénieur en opérations aériennes

Boeing Commercial Airplanes



David Anderson
Ingénierie des opérations aériennes

Volet Opérations aériennes
Ottawa, 5-6 novembre 2002

Procédures opérationnelles visant à réduire la consommation de carburant et les émissions



- Les émissions de CO₂ sont directement proportionnelles à la consommation de carburant
- Les économies de carburant peuvent aussi réduire les émissions de CO₂
- La réduction d'autres types d'émissions dépend des procédures spécifiques



Qu'est-ce que l'économie de carburant?



L'économie de carburant consiste à gérer l'exploitation et la condition d'un avion afin de réduire au minimum la quantité de carburant utilisé (et les émissions) à chaque vol



Une réduction de 1 % équivaut à quelle quantité de carburant?



Type d'avion **Économies* de
carburant**

<u>Type</u>	<u>Gallons/année/avion</u>
737	15 000
727	30 000
757	25 000
767	30 000
777	70 000
747	100 000


(*En supposant des taux d'utilisation typiques des avions)



Économiser du carburant nécessite l'aide de tous les intervenants

- Opérations aériennes
- Régulateurs
- Équipages de conduite
- Personnel de maintenance
- Personnel de gestion





Pratiques opérationnelles favorisant l'économie de carburant



Opérations aériennes / Régulateurs

Occasions d'économiser du carburant :

- Masse à l'atterrissage
- Réserves de carburant
- Chargement de l'avion
- Réglage des volets
- Choix de l'altitude
- Choix de la vitesse
- Choix de la route



Effet de la réduction de la masse à l'atterrissage

**% d'économie de carburant
cale à cale par 1 000 lb de
réduction de la ZFW**

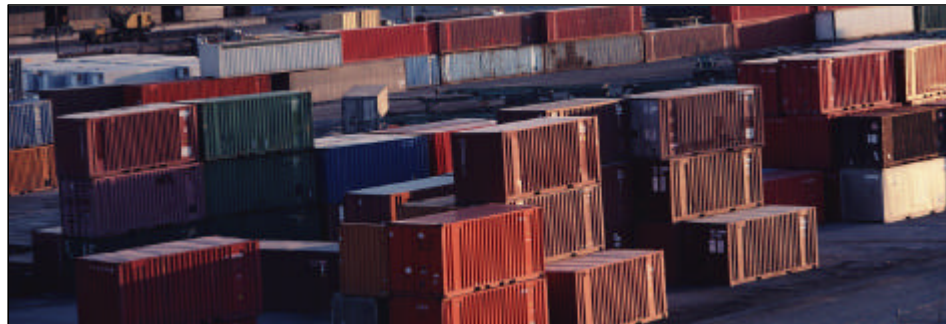
737- 3/4/500	737- 6/7/800	757- 200/-300	767- 200/300	777- 200/300	747-400
0,7 %	0,6 %	0,5 %	0,3 %	0,2 %	0,2 %



Réduire l'OEW entraîne la réduction de la masse à l'atterrissage

Points à considérer :

- Articles servant au service passagers
- Articles servant au divertissement passagers
- Conteneurs à fret et à bagages
- Équipement d'urgence
- Eau potable





Transport
Canada

Transports
Canada

Réduire la quantité de carburant non nécessaire entraîne la réduction de la masse à l'atterrissage



- Planifier les vols en fonction de chaque avion en particulier
- Effectuer la surveillance des performances en croisière
- Transporter une quantité appropriée de carburant de réserve afin d'assurer la sécurité du vol

(Surplus de réserves = surplus de masse)



David Anderson
Ingénierie des opérations aériennes

Volet Opérations aériennes
Ottawa, 5-6 novembre 2002

Canada

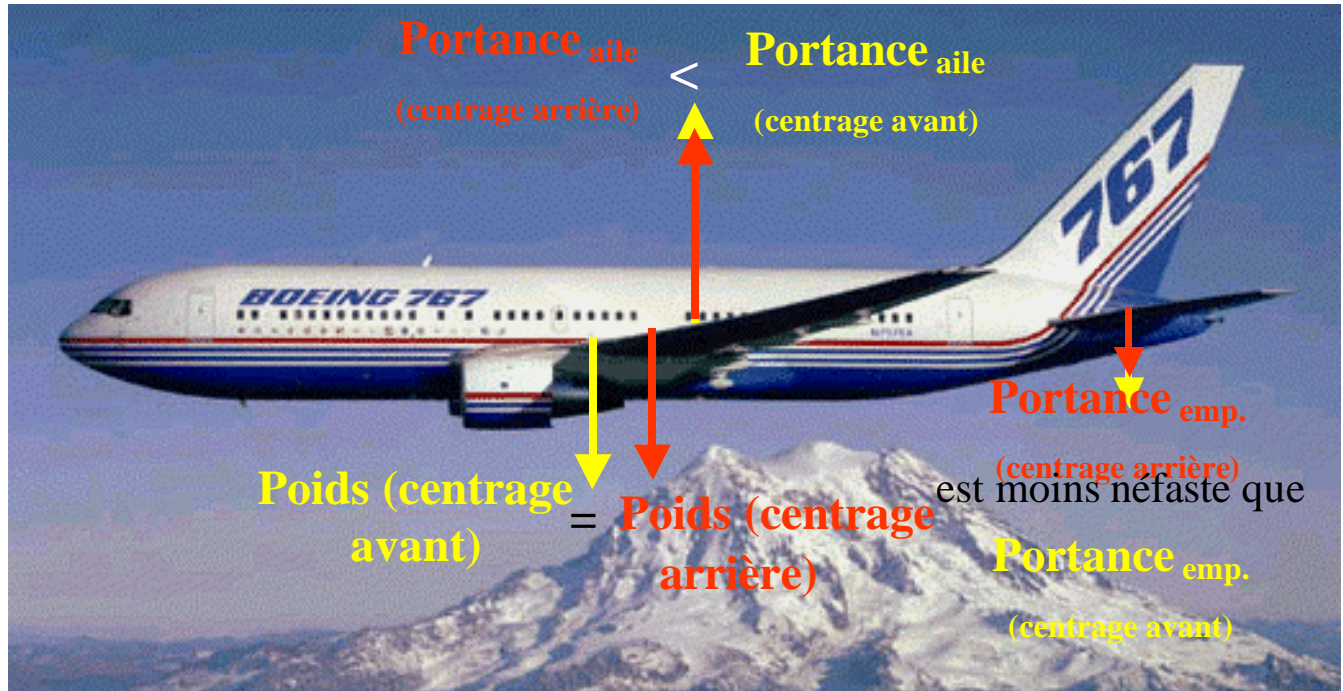
Réserves de carburant

La quantité de carburant de réserve nécessaire dépend :

- des exigences réglementaires
- du choix de l'aéroport de dégagement
- du recours à une reprise par la régulation des vols
- des politiques de l'entreprise en ce qui concerne les réserves
- du carburant discrétionnaire



Maintenir le centrage entre les plages moyenne et arrière



- Un centrage arrière signifie que la portance de l'empennage est moins néfaste que si le centrage était situé vers l'avant en raison du moment plus petit entre la portance $_{aile}$ et le poids.
- Un angle d'attaque (α) plus faible est nécessaire à la création d'une portance $_{aile}$ plus faible afin de déporter le poids et la portance $_{emp.}$ moins néfaste.
- Même portance $_{totale}$ mais une portance $_{aile}$ plus faible donc, un α plus faible est nécessaire.

Chargement de l'avion

On peut trouver des exemples de modification de la traînée en raison du centrage dans les divers manuels techniques relatifs aux performances

737-700

777-200

0,78M Traînée de compensation

0,84M Traînée de compensation

Plage de centrage	DC _D comp.
8 % à 12 %	+2 %
13 % à 18 %	+1 %
19 % à 25 %	0
26 % à 33 %	-1 %

Plage de centrage	DC _D comp.
14 % à 19 %	+2 %
19 % à 26 %	+1 %
26 % à 37 %	0
37 % à 44 %	-1 %



Réglage des volets

Choisir le réglage des volets le plus faible, mais qui respecte tout de même les exigences de performances

- **Moins de traînée**
- **Meilleures performances en montée**
- **Moins de temps passé à basse altitude, moins grande consommation de carburant**



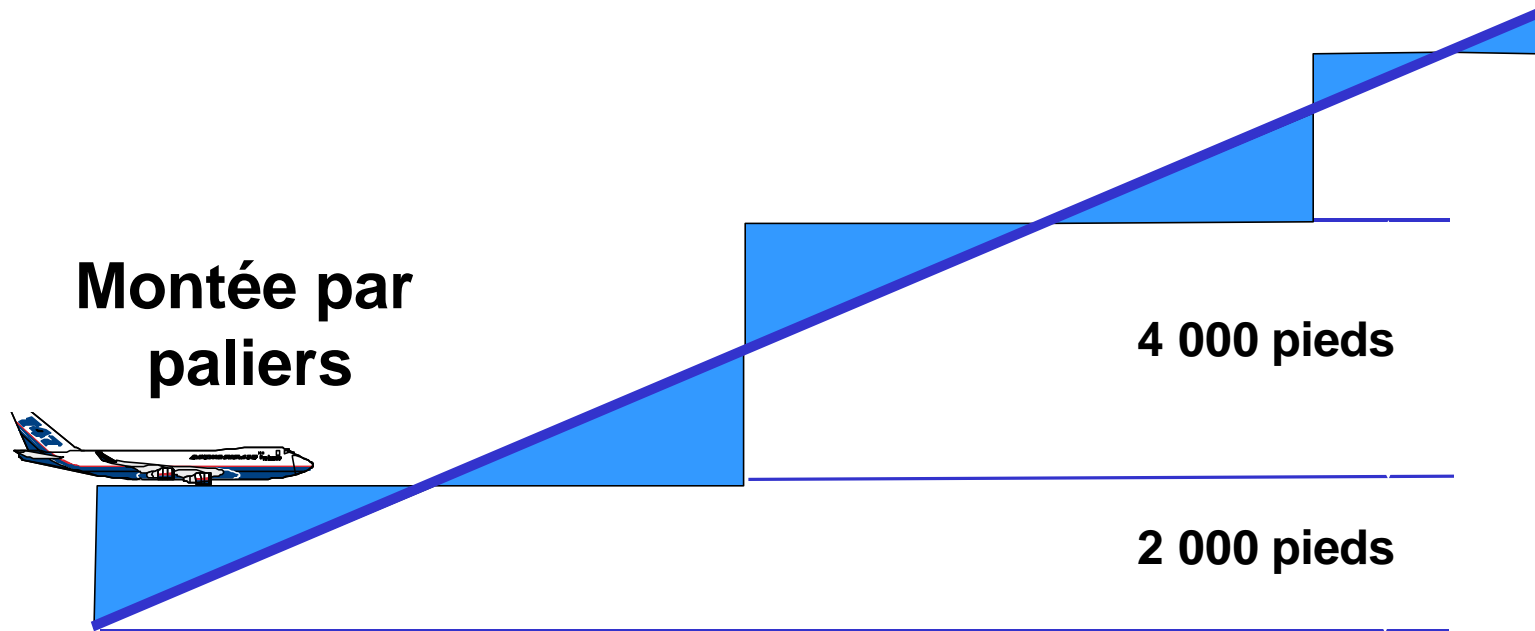
Choix de l'altitude

Altitude optimale :

Altitude-pression pour le poids et les vitesses prévues qui donnent une distance parcourue maximale par unité de carburant



Montée par paliers



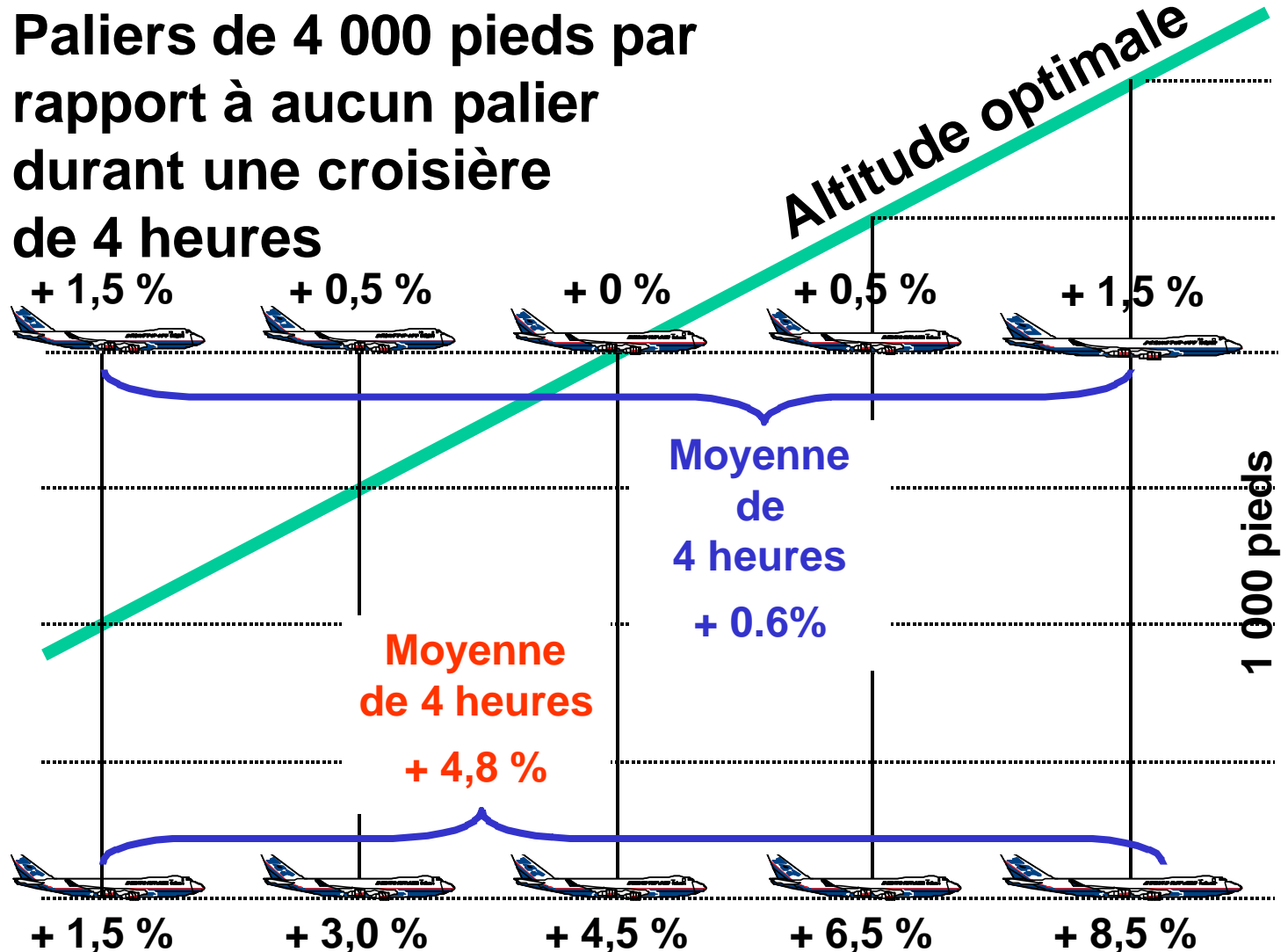
**Altitude
optimale**



= En dehors de la la plage
d'exploitation
optimale

Pénalité de consommation de carburant en dehors de la plage d'exploitation maximale

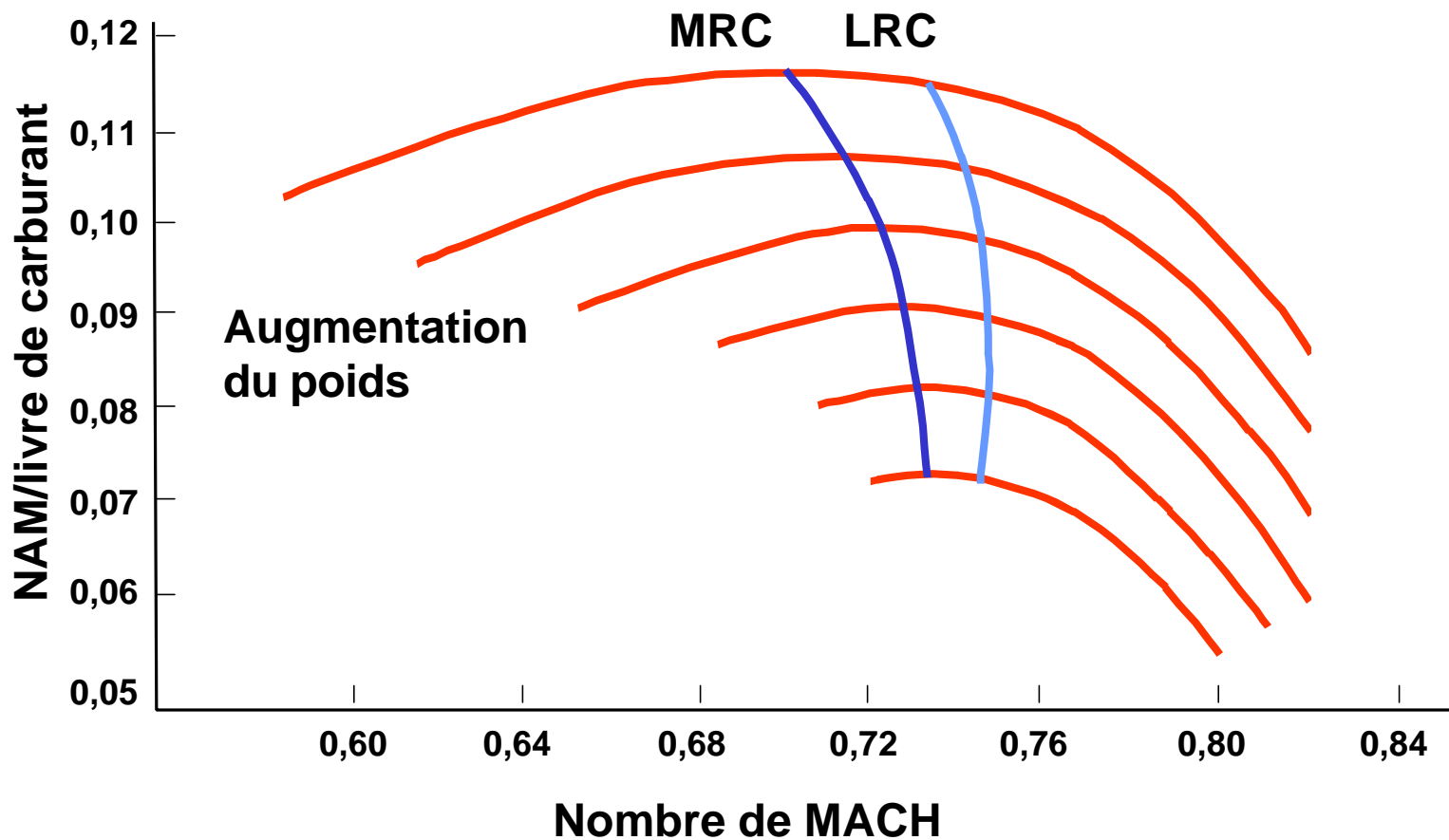
Paliers de 4 000 pieds par
rapport à aucun palier
durant une croisière
de 4 heures



Choix de la vitesse - LRC ou MRC

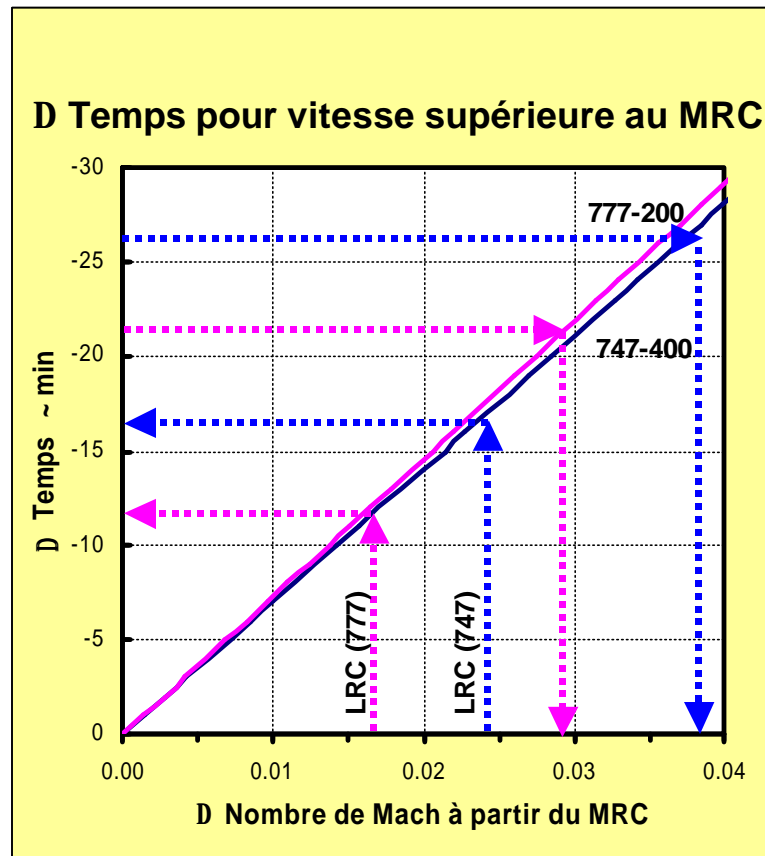
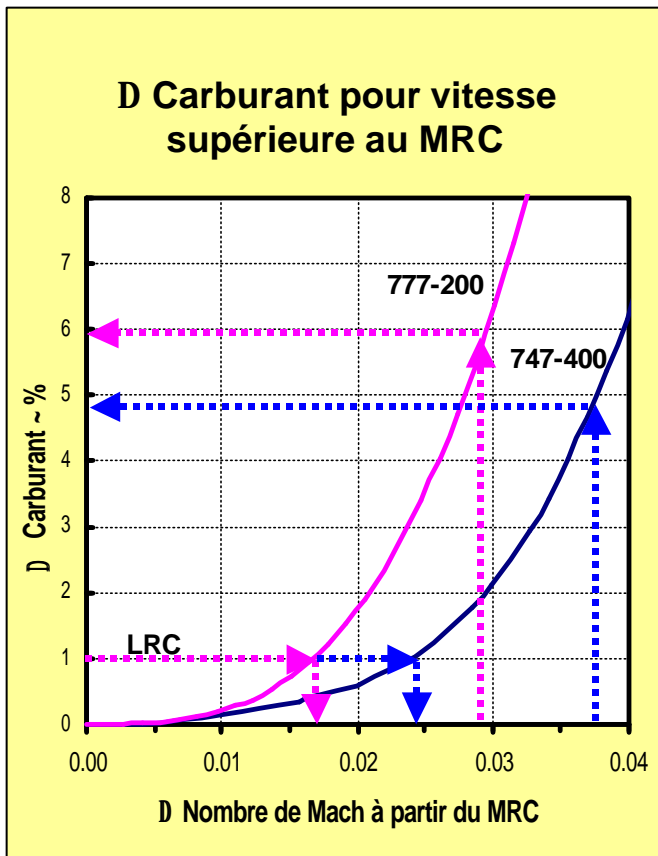
MRC = Régime de croisière maximal

LRC = Régime de croisière optimal



Vitesse supérieure au MRC?

- 5 000 NM en croisière



Choix de la vitesse - autres options



- Indice des coûts = 0 (maximise **ng**m/lb = MRC)
- Indice des coûts choisi (minimise les coûts)

$$IC = \frac{\text{Coût du temps} \sim \$/h}{\text{Coût du carburant} \sim \text{cents/lb}}$$

- Endurance maximale (maximise temps/lb)



Choix de la route

- Choisir la route la plus directe possible
- Un « grand cercle » est la plus courte distance entre 2 points à la surface de la Terre
- Un grand cercle peut ne pas être la plus courte distance en vol lorsqu'on tient compte des vents



Exemple de consommation de carburant au roulage et avec l'APU

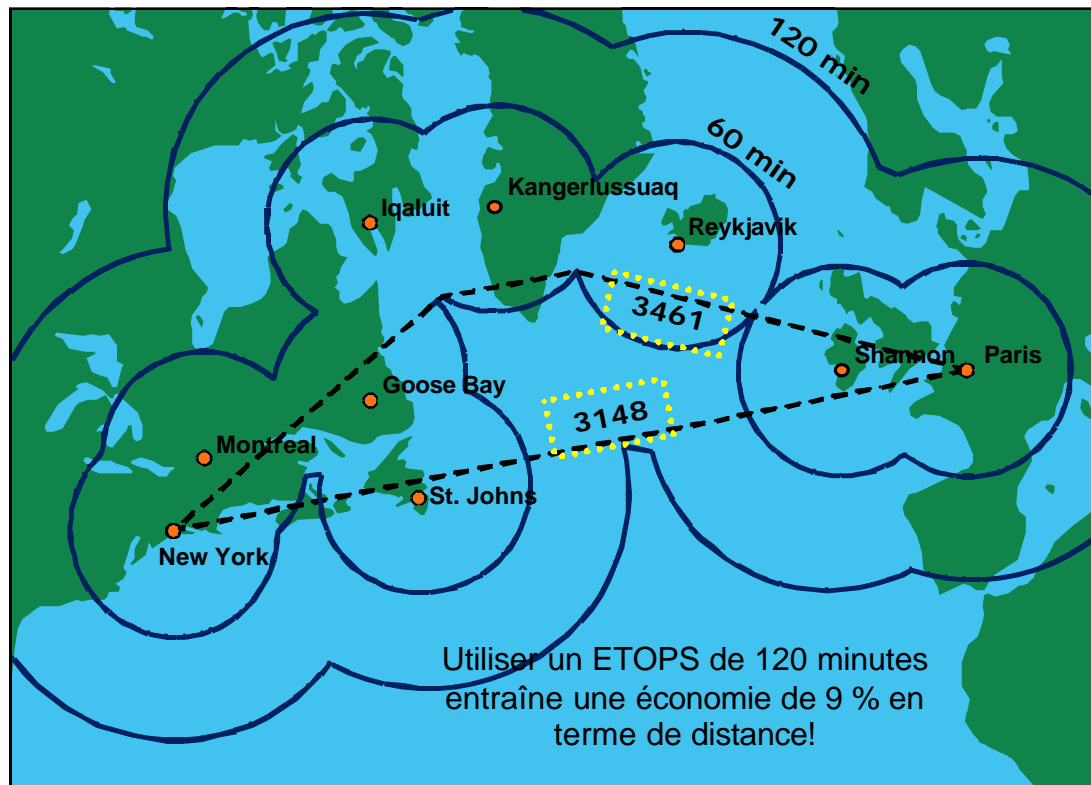


Condition	727	737	747	757	767	777
Roulage (lb/min)	60	25	100	40	50	60
APU (lb/min)	5	4	11	4	4	9



ETOPS

- L'ETOPS permet un nombre plus élevé de routes directes
- Routes plus courtes = besoin de moins de carburant



Équipage de conduite

Occasions de faire des économies de carburant :

- Penser économie de carburant à toutes les étapes du vol
- Comprendre les systèmes de l'avion - gestion des systèmes



Démarrage des moteurs

- Démarrer les moteurs le plus tard possible, coordonner le démarrage avec l'horaire des départs de l'ATC
- Absorber les retards à la porte
- Minimiser l'utilisation de l'APU si une génératrice au sol est disponible



Roulage

- Prendre la route la plus courte possible
- Utiliser une poussée minimale et minimiser l'utilisation des freins



Roulage - considérations entourant la procédure « un moteur coupé »

- Passage en revue des listes de vérifications après démarrage et avant décollage retardé
- Protection contre les incendies de la part du personnel au sol réduite
- Masses élevées, bitume mou, pente de la voie de circulation
- Stabilisation thermique du moteur - réchauffement et refroidissement
- Exigences des circuits pneumatique et électrique
- Virages lents ou serrés dans la direction du ou des moteurs en marche
- Exigences de démarrage par interprélèvement

Équilibre entre les questions de conservation de carburant et de sécurité



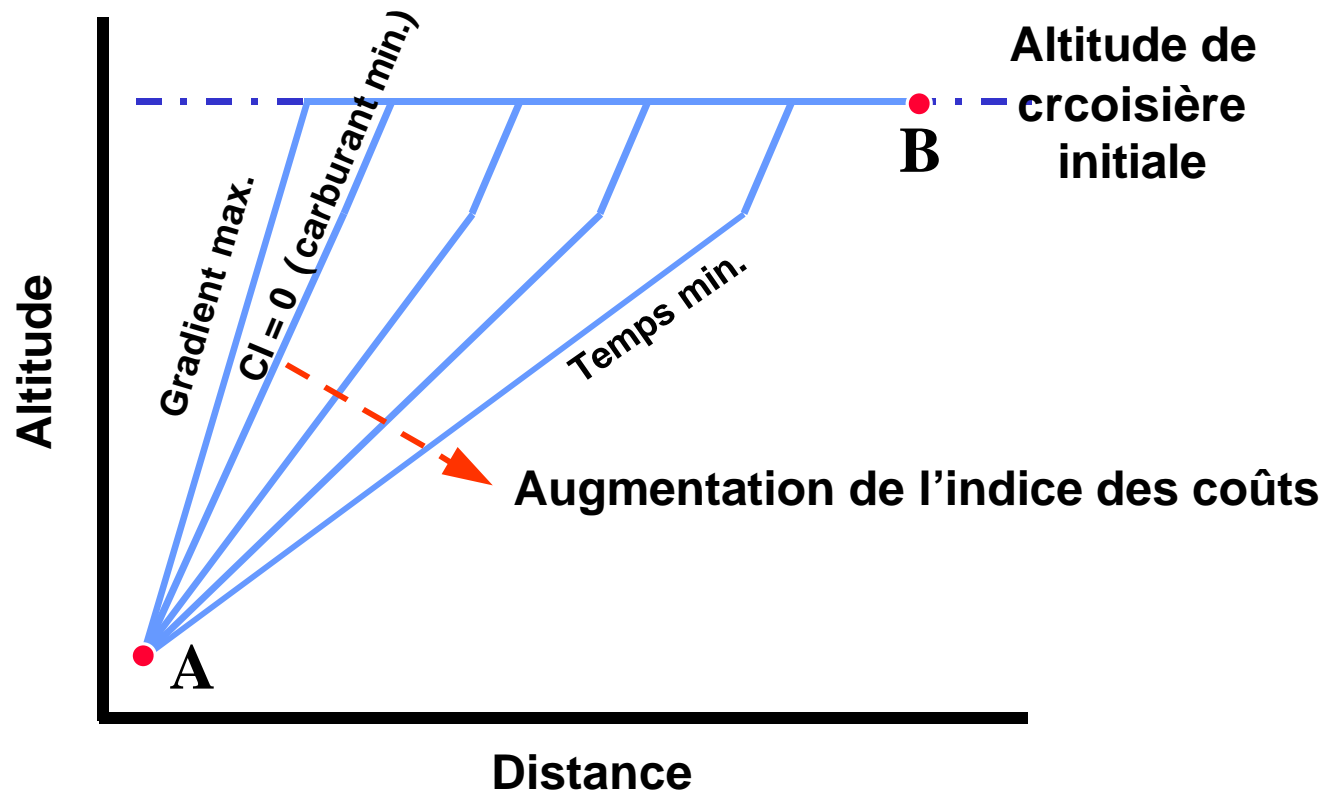
Décollage

- Rentrer les volets le plus tôt possible
- Utiliser la poussée nominale plutôt que la poussée nominale réduite entraînera des économies de carburant (mais augmentera le coût global de l'entretien des moteurs)



Montée

- Indice des coûts = 0 minimise le carburant pour la montée et la croisière à un point commun dans l'espace.





Transport
Canada

Transports
Canada

Croisière

Procédure de compensation en roulis et en lacet :

- Un avion qui évolue de manière constante à un niveau de vol peut avoir besoin d'une certaine sollicitation des gouvernes de vol afin de maintenir la manoeuvrabilité en roulis et en lacet
- L'utilisation d'une procédure de compensation adéquate minimise la traînée
- Une mauvaise procédure de compensation peut entraîner une pénalité de traînée de 0,5 % pour un 747 en croisière



Croisière

Gestion des systèmes :

- Les avions dont le circuit de climatisation est réglé sur un débit élevé voient leur consommation de carburant subir une augmentation de 0,5 à 1 %
- Ne pas chauffer la soute sans raison
- Ne pas utiliser le circuit antigivrage sans raison
- Maintenir l'équilibre de la charge de carburant



Croisière

Vents :

- Les vents peuvent justifier le choix d'une altitude se trouvant à l'extérieur de la plage d'exploitation optimale
- le but est de maximiser le nombre de milles terrestres par gallon de carburant
- Des tableaux de correspondance vent-altitude sont fournis dans les manuels de vol



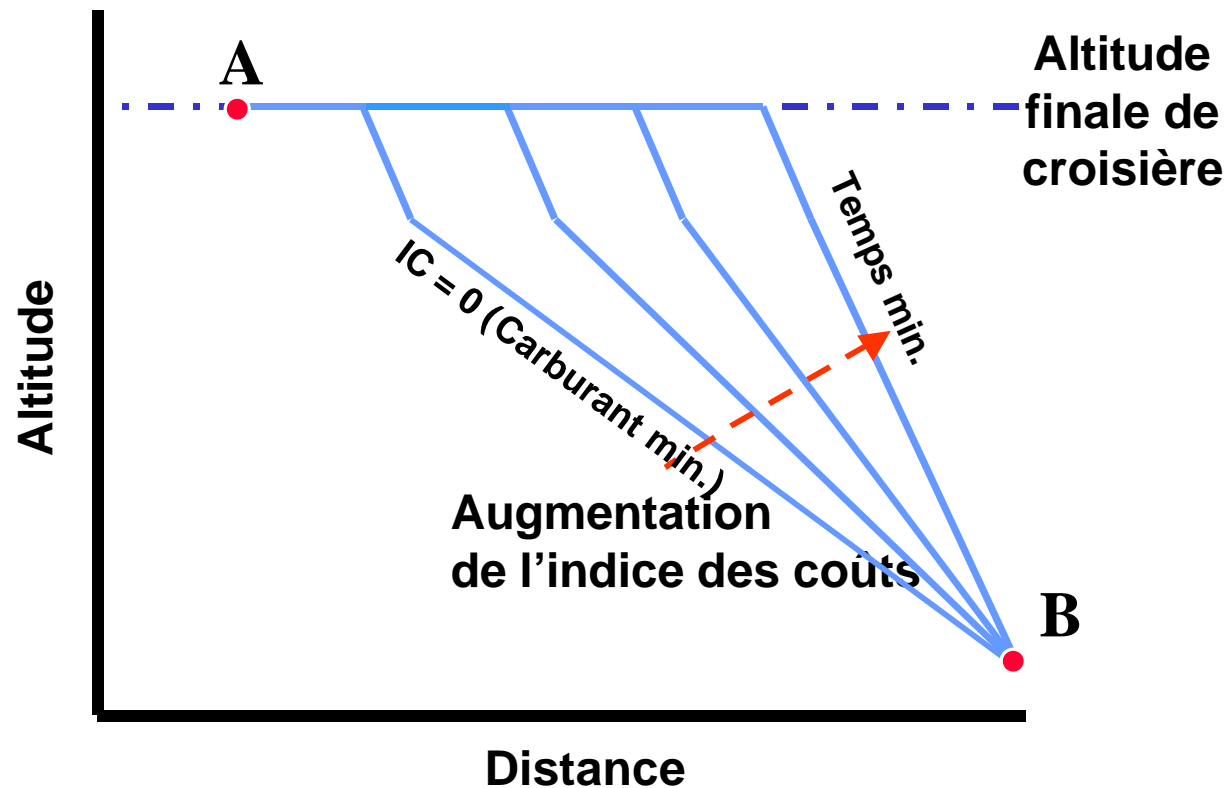
Descente

- Pénalité en cas de descente hâtive - plus on passe de temps à basse altitude, plus on brûle du carburant
- Le point de début de descente optimale dépend des vents, de l'ATC, des restrictions de vitesse, etc...
- Utiliser l'information fournie par le FMC
- Utiliser la poussée de ralenti (pas de descente à puissance partielle)



Descente

- **Indice des coûts = 0 minimise le carburant entre un point commun de croisière et un point commun de fin de descente.**



Approche

- Ne pas passer trop vite en configuration d'atterrissage
- Le débit de carburant en configuration d'atterrissage est de 150 % du débit de carburant en configuration lisse





Transport
Canada

Transports
Canada

Résumé des pratiques opérationnelles



Opérations aériennes / régulateurs

- Minimiser la masse à l'atterrissage
- Ne pas transporter plus de carburant de réserve qu'il n'en faut
- Régler les volets au minimum requis
- Viser une altitude optimale (corrigée en fonction du vent)
- Viser le LRC (ou indice des coûts)
- Choisir la route la plus directe



Transport
Canada

Transports
Canada

Résumé des pratiques opérationnelles

Équipages de conduite :

- Minimiser l'utilisation des moteurs et de l'APU au sol
- Évoluer aux vitesses à indice des coûts choisies
- Utiliser les procédures de compensation appropriées
- Comprendre les systèmes de l'avion
- Ne pas commencer la descente trop tôt
- Ne pas passer trop tôt en configuration d'atterrissage



David Anderson
Ingénierie des opérations aériennes

Volet Opérations aériennes
Ottawa, 5-6 novembre 2002

Canada



Transport
Canada

Transports
Canada

Résumé des pratiques opérationnelles



Questions?



David Anderson
Ingénierie des opérations aériennes

Volet Opérations aériennes
Ottawa, 5-6 novembre 2002

Canada