



Économies de carburant
Procédures opérationnelles dans un souci
de meilleur rendement environnemental

Dave Anderson

Ingénierie des opérations aériennes

Boeing Commercial Airplanes

Septembre 2006

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

L'économie de carburant consiste à gérer l'exploitation et l'état d'un avion afin de réduire au minimum le carburant utilisé à chaque vol

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 de la procédure employée

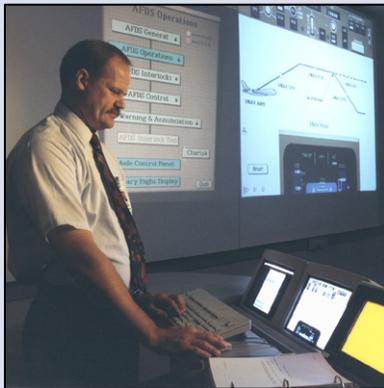
Une réduction de 1 % équivaut à quelle quantité de carburant?

Type d'avion	Économies de carburant Gallons/année/avion
777	70 000 → 90 000
767	30 000 → 40 000
757	25 000 → 35 000
747	100 000 → 135 000
737	15 000 → 25 000
727	30 000 → 40 000

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

Économiser du carburant nécessite l'aide de tous les intervenants

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



Opérations aériennes et régulateurs

Possibilités d'économiser du carburant

- Réduire la masse à l'atterrissage
- Charger les réserves appropriées de carburant
- Charger l'avion en tenant compte du centrage arrière
- Choisir le réglage minimal des volets qui répond à toutes les exigences
- Voler aux altitudes optimales (selon la correction vent)
- Planifier des vitesses efficaces et circuler à ces vitesses
- Choisir la route la plus appropriée

Réduction de la masse à l'atterrissage

Une réduction de 1 % de la masse à l'atterrissage entraîne ce qui suit :

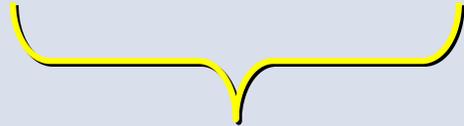
≅ 0,75 % de réduction de la consommation de carburant (moteurs à taux de dilution élevé)

≅ 1 % de réduction du carburant consommé (moteurs à faible taux de dilution)



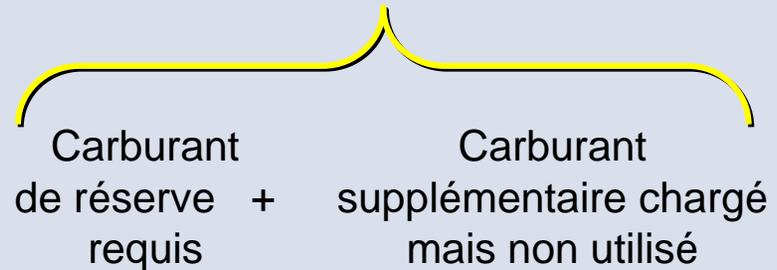
Composants de la masse à l'atterrissage

$$W_{LDG} = \text{OEW} + \text{charge utile} +$$



Masse sans carburant

Carburant à bord au moment de l'atterrissage



Réduire la quantité de carburant inutile permet de réduire la masse à l'atterrissage

- Effectuer la surveillance des performances en croisière
- Planifier les vols en fonction de chaque avion
- Transporter une quantité appropriée de carburant de réserve afin d'assurer la sécurité du vol (réserves excédentaires = masse excédentaire)



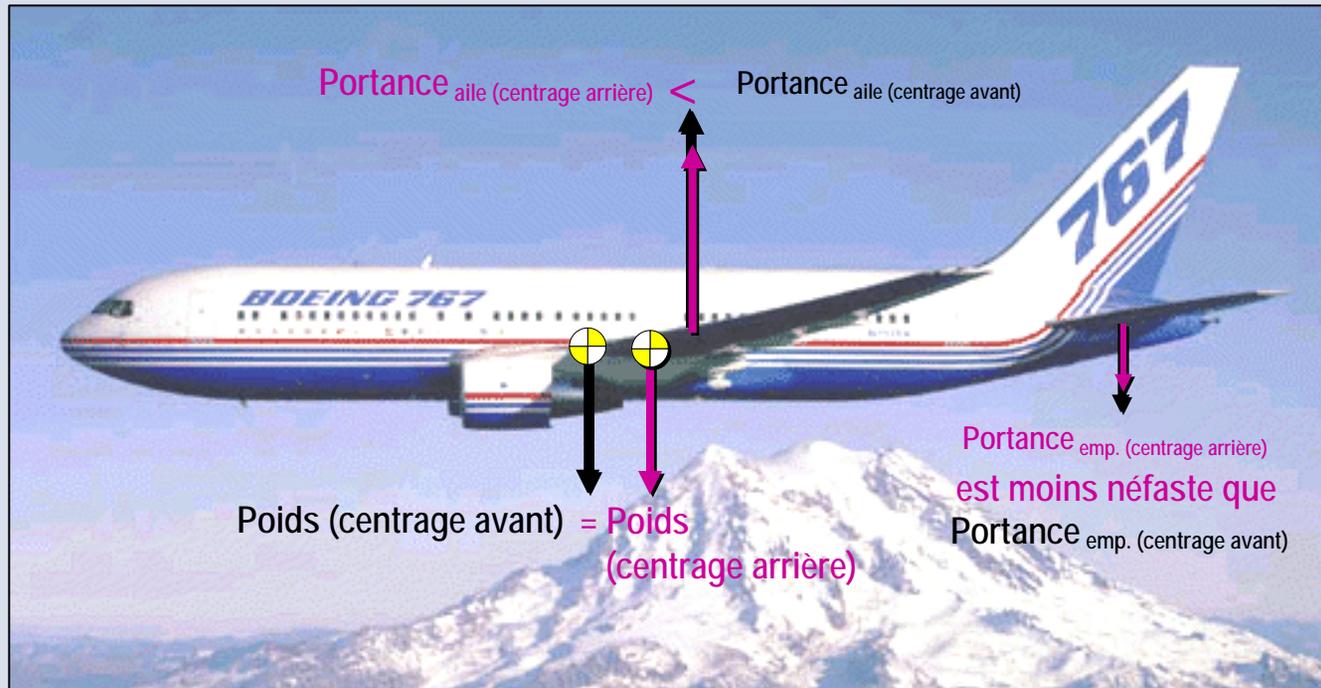
Réserves de carburant

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 matière de réserves
- du carburant discrétionnaire

Chargement de l'avion

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

Maintenir le centrage entre les plages moyenne et arrière

- Des exemples de modification de la traînée en raison du centrage figurent dans les divers manuels techniques relatifs aux performances

Type d'aéronef 1

Δ traînée de comp. selon le Mach de croisière

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

Type d'aéronef 2

Δ traînée de comp. selon le Mach de croisière

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

- L'écart réel de traînée en raison du centrage varie selon la conception, le poids, l'altitude et le nombre de Mach de l'avion

Réglage des volets

Choisir le réglage des volets le plus faible, mais qui respecte les exigences de performance :

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



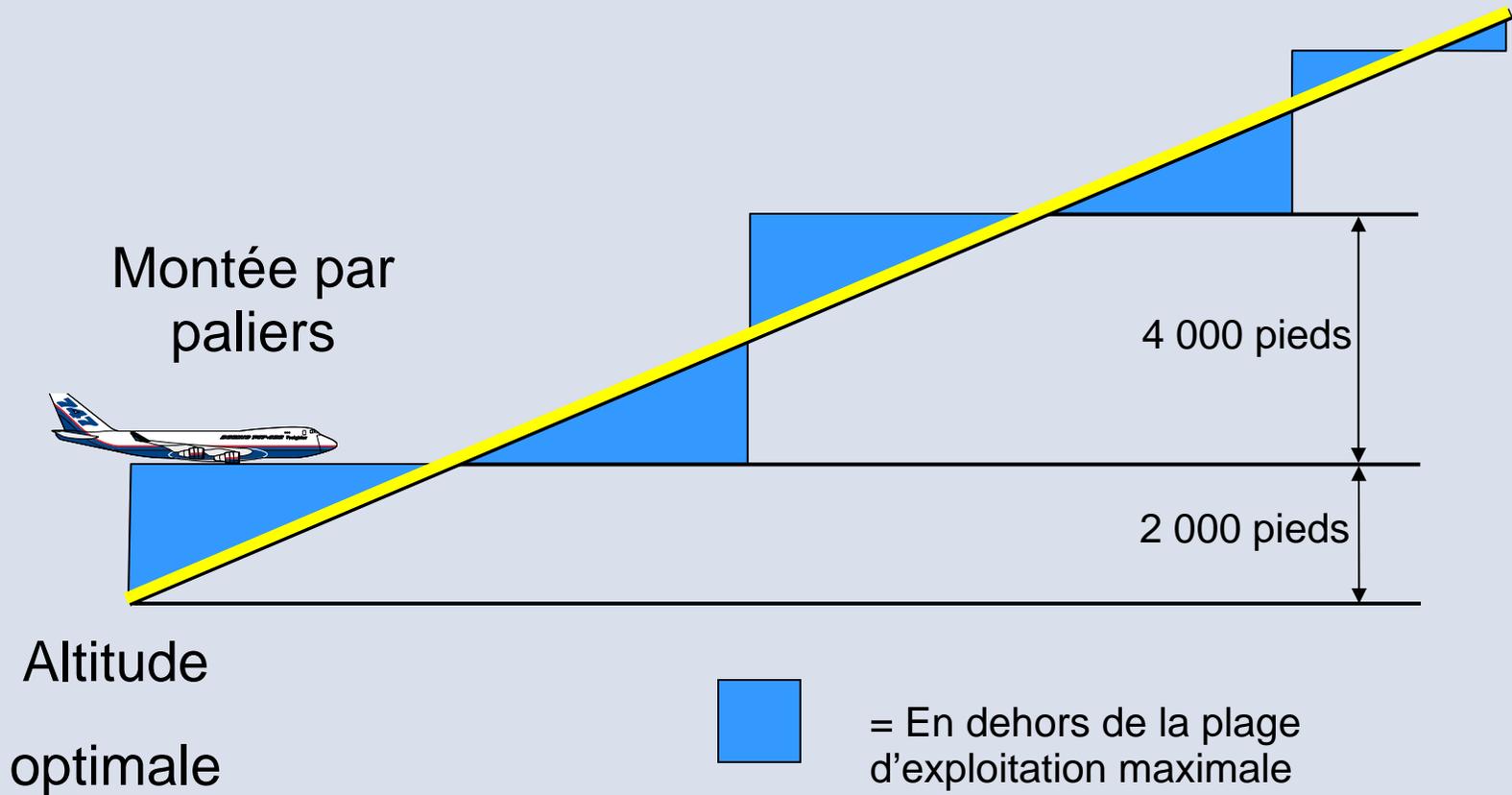
Choix de l'altitude

Définition d'altitude optimale

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

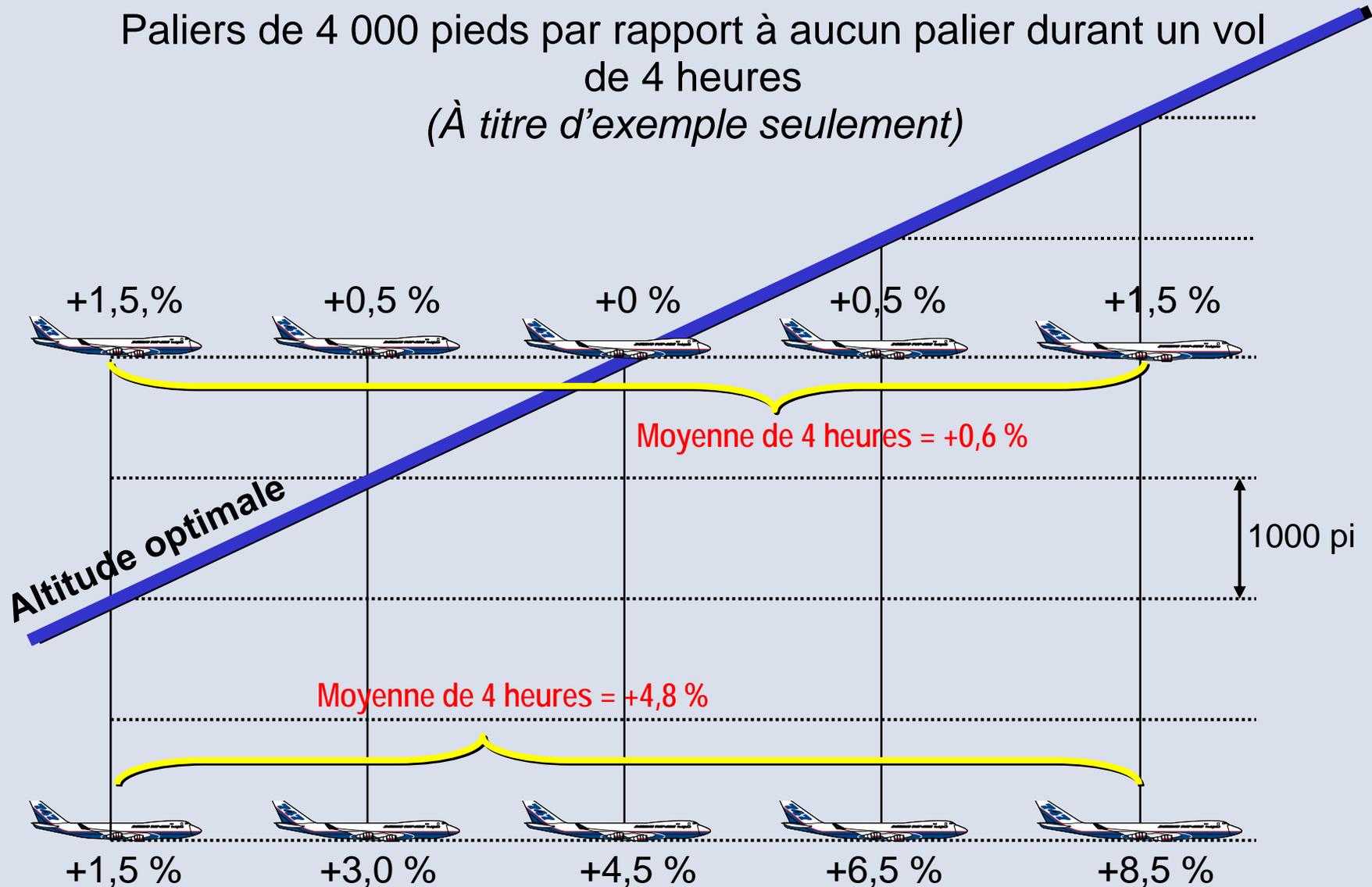


Montée par paliers



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

Paliers de 4 000 pieds par rapport à aucun palier durant un vol de 4 heures
(À titre d'exemple seulement)

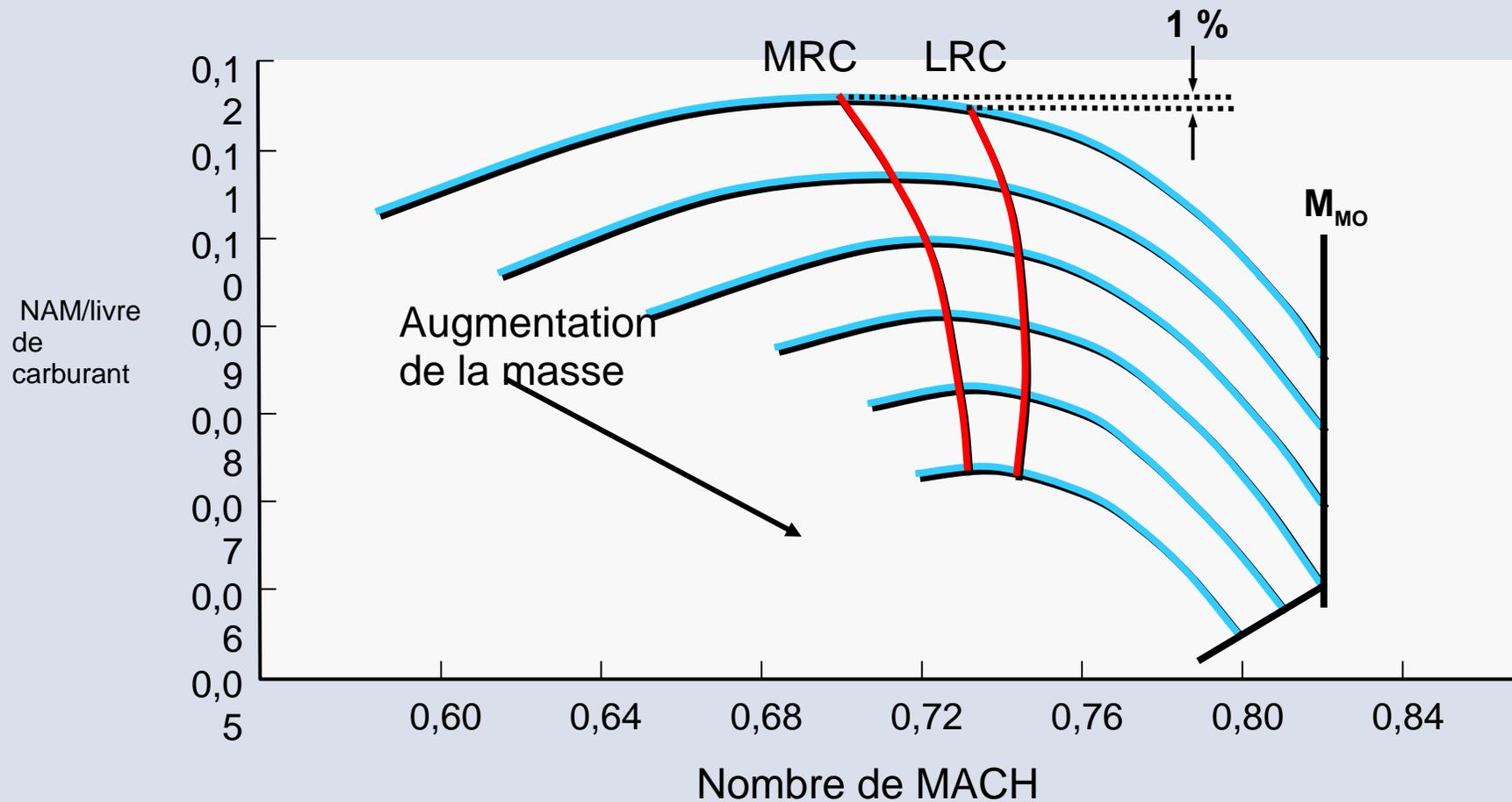


Choix de la vitesse

LRC et MRC

MRC = Régime de croisière maximal

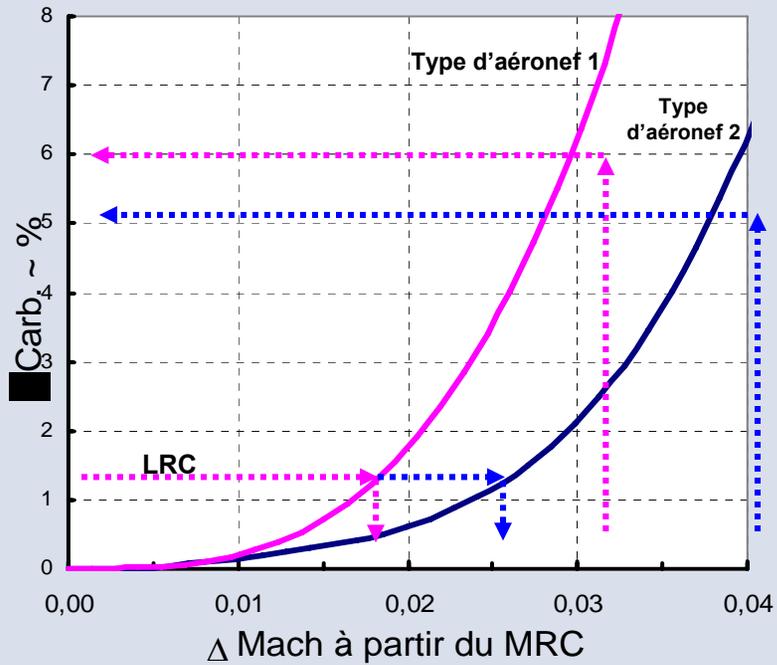
LRC = Régime de croisière optimal



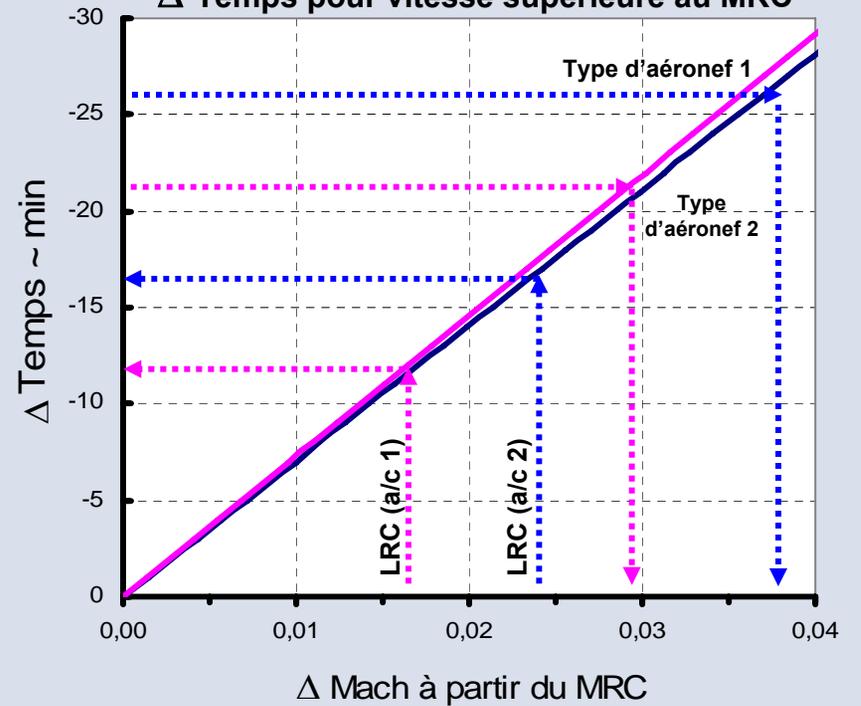
Vitesse supérieure au LRC?

5 000 NM en croisière

Δ Carburant pour vitesse supérieure au MRC



Δ Temps pour vitesse supérieure au MRC



Choix de la vitesse – autres options

- Indice des coûts (IC) = 0 (maximise ngm/kg = MRC selon la correction vent)
- Indice des coûts choisi (réduit les coûts)

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

IC élevé,  vitesse élevée, consommation élevée de carburant, longue durée de vol

IC bas,  basse vitesse, faible consommation de carburant, courte durée de vol

- Autonomie maximale (maximise temps/lb)

Choix de la route

- Choisir la route la plus directe possible en tenant compte des effets du vent
- Un « grand cercle » est la plus courte distance au sol 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



Équipage de conduite

Possibilités de réaliser des économies de carburant :

- Penser économie de carburant à toutes les étapes du vol
- Comprendre les systèmes de bord – gestion des systèmes



Roulage

- Prendre la route la plus courte possible
- Utiliser une poussée minimale et freiner le moins possible



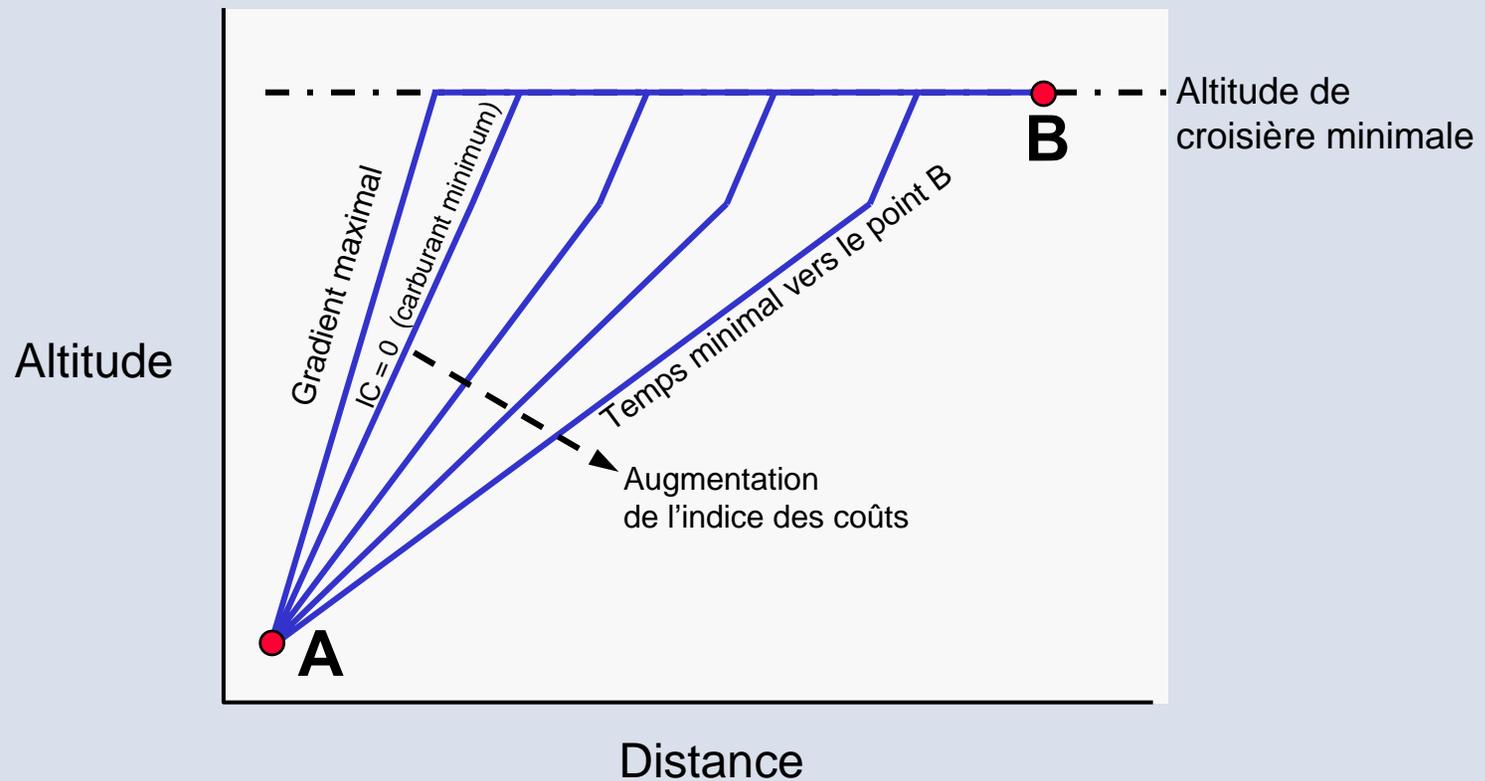
Décollage

- Rentrer les volets le plus tôt possible
(mais pas plus bas que la hauteur minimale de rentrée des volets recommandée)
- Utiliser la poussée nominale plutôt que la poussée nominale réduite permet des économies de carburant (mais augmente le coût global de la maintenance des moteurs)



Montée

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



Croisière

Procédure de compensation en roulis et en lacet

- Un avion qui évolue de manière constante à un niveau de vol peut nécessiter une certaine sollicitation des gouvernes pour maintenir la manœuvrabilité en roulis et en lacet
- L'utilisation d'une procédure de compensation adéquate réduit la traînée au minimum
- Une mauvaise procédure de compensation peut entraîner une pénalité de traînée de 0,5 % pour un 747 en croisière
- Suivre les procédures qui se trouvent dans le manuel de formation de l'équipage de conduite



Croisière

Gestion des systèmes

- Les avions dont le circuit de conditionnement d'air est réglé sur un débit élevé voient leur consommation de carburant augmenter 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



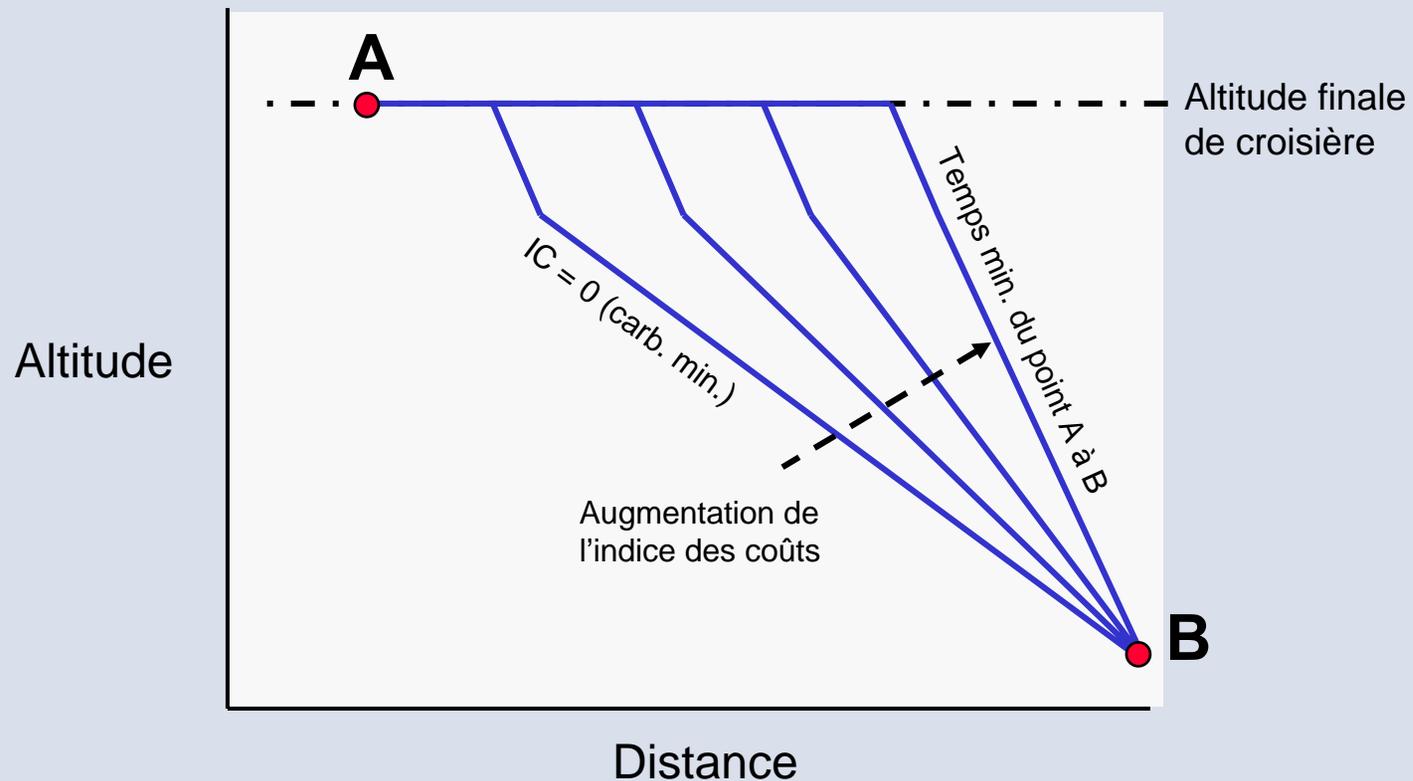
Descente

- 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)



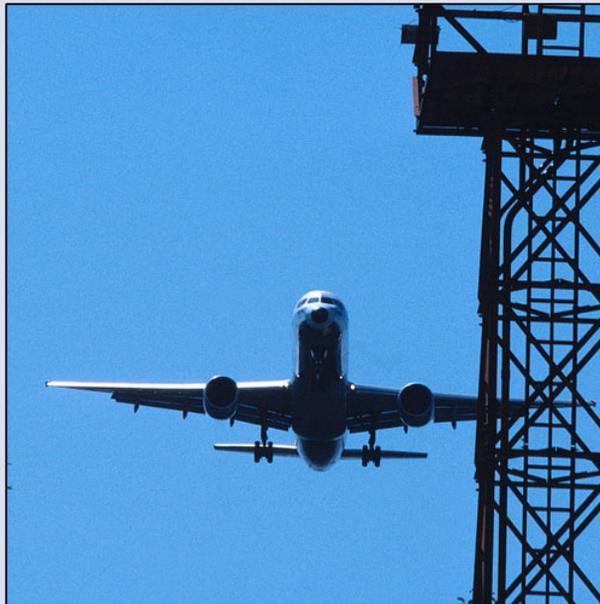
Descente

Indice des coûts = 0 réduit au minimum 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 carburant en configuration d'atterrissage correspond à environ 150 % du débit de carburant en configuration lisse



Résumé des pratiques opérationnelles

Opérations aériennes et régulateurs

- Réduire au minimum la masse à l'atterrissage
- Ne pas transporter plus de carburant de réserve que nécessaire
- Charger l'avion en tenant compte du centrage arrière si possible
- 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 possible

Résumé des pratiques opérationnelles

Équipages de conduite

- Réduire au minimum l'utilisation des moteurs et de l'APU au sol
- Rentrer les volets le plus tôt possible
- Évoluer aux vitesses de vol prévues à toutes les étapes du vol
- Utiliser les procédures de compensation appropriées
- Comprendre les systèmes de l'avion
- Comprendre les correspondances vent-altitude
- Ne pas commencer la descente trop tôt (ni trop tard)
- Ne pas passer trop tôt en configuration d'atterrissage

Conclusions

Le succès est l'affaire de tous

- La somme de petites mesures et politiques d'économie de carburant se traduit par de grandes économies au niveau de la consommation de carburant (et des émissions)
- La contribution de tous (opérations aériennes, équipages de conduite, maintenance et gestion) est indispensable





Merci!

FLIGHT
OPERATIONS
ENGINEERING



Économies de carburant
Fin des procédures opérationnelles dans
un souci de meilleur rendement
environnemental

Dave Anderson

Ingénierie des opérations aériennes

Boeing Commercial Airplanes

Septembre 2006