

# LES ÉCONOMIES DE CARBURANT

## *Atelier GT4*

**Mesures opérationnelles en aviation visant à  
réduire la consommation de carburant et les  
émissions**

**Philippe Fonta**  
**AIRBUS**

*Discussion sur les opérations aériennes*  
Ottawa, 5-6 novembre 2002



# LES ÉCONOMIES DE CARBURANT

- 28 octobre 1972 : premier vol de l'A300
- 1973 : première crise de l'énergie
- Depuis sa création, Airbus s'investit à fond dans les économies de carburant

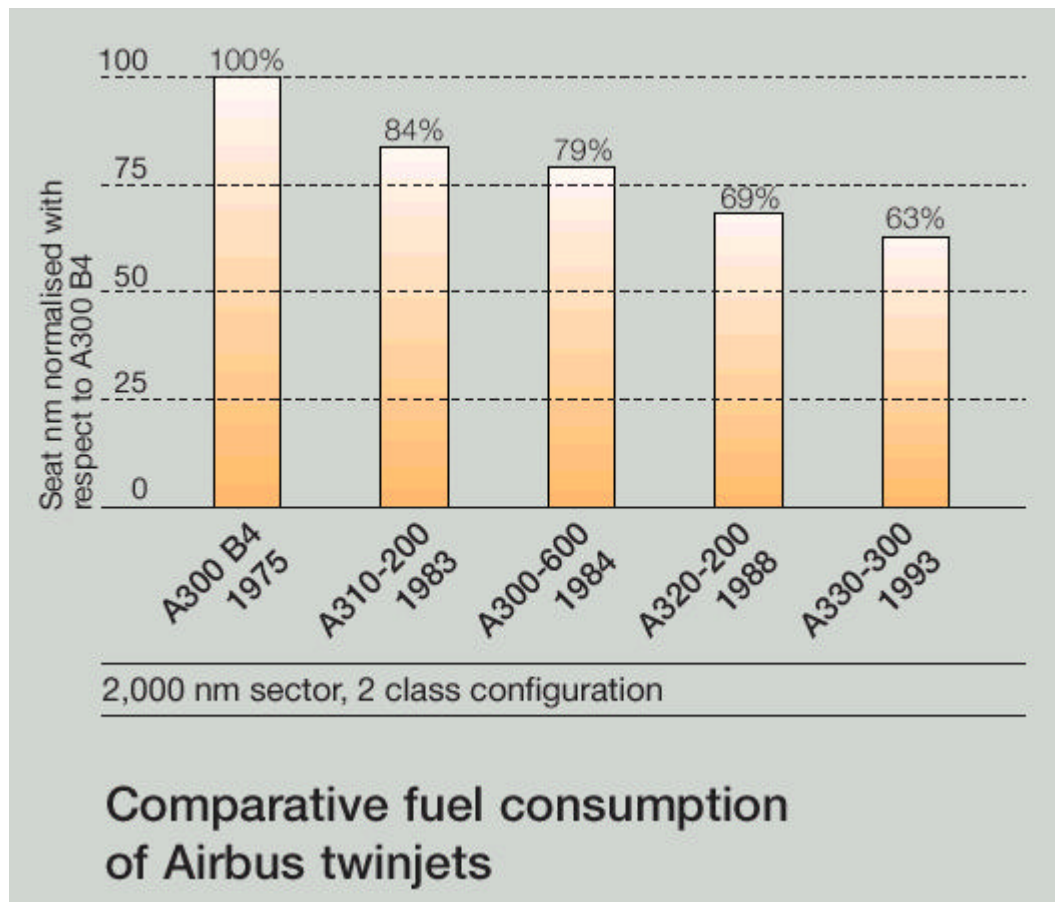


***Un objectif permanent et omniprésent  
chez Airbus***



*Discussion sur les opérations aériennes  
Ottawa, 5-6 novembre 2002*

# LES ÉCONOMIES DE CARBURANT



Source :  
The Airbus Way -  
Environment  
Juillet 2002

***Des améliorations continues pour chaque nouveau produit***

Discussion sur les opérations aériennes  
Ottawa, 5-6 novembre 2002





# LES ÉCONOMIES DE CARBURANT

## CONTEXTE

- Un objectif permanent et omniprésent chez Airbus
- Airbus déploie des efforts soutenus
  - dans tous les champs d'activité
  - dans toutes les phases de la vie d'un produit
  - dans tous les composants des avions
  - dans chaque phase d'exploitation
- L'expérience accumulée conjointement par Airbus, les fournisseurs et les exploitants, a permis d'atteindre la maturité en matière de véritable optimisation des économies de carburant
- Incorporation des améliorations aux technologies, aux méthodologies et aux techniques de modélisation comme à l'instrumentation, etc., dès qu'elles sont disponibles

Les recommandations dont il est fait état dans ces diapositives ne doivent servir qu'à des fins d'information générale et ne sauraient remplacer tout document spécifique existant

*Discussion sur les opérations aériennes*

Ottawa, 5-6 novembre 2002



# ***LES ÉCONOMIES DE CARBURANT***

## **Des efforts soutenus dans tous les champs d'activité**

- **Conception, production et qualité des avions optimisées de manière à minimiser la consommation de carburant et à maximiser le maintien des performances.**
  - Coopération étroite avec les constructeurs et les fournisseurs de moteurs et de nacelles
- **La formation et la documentation comprennent des recommandations**
  - Brochures spécifiques sur les économies de carburant, sur l'indice des coûts et sur la surveillance des performances.
- **Appui en service**
  - appui de circonstance
  - visites périodiques ou de circonstance d'équipes et de spécialistes, vérifications
  - conférences régulières sur les performances et l'exploitation



# ***LES ÉCONOMIES DE CARBURANT***

**Des efforts soutenus dans toutes les phases  
de la vie d'un produit (1)**



**Conception**



**Achat**

**Construction,  
assemblage**



**Essais en vol, étalonnage**

**Livraison, exploitation en service**

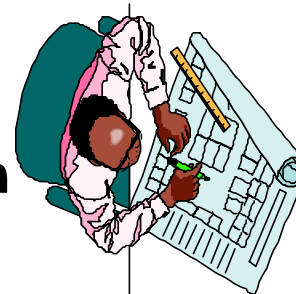
*Discussion sur les opérations aériennes*  
Ottawa, 5-6 novembre 2002



# LES ÉCONOMIES DE CARBURANT

## Des efforts soutenus dans toutes les phases de la vie d'un produit (2)

### Conception



**Conception, production et qualité des avions optimisées de manière à minimiser la consommation de carburant et à maximiser le maintien des performances.**

- Développement de procédures et d'outils «conçus pour l'environnement» facilitant l'incorporation de critères propres à l'environnement, à la santé et à la sécurité (EHS) dans la conception.
- Évaluation systématique des critères EHS avant tout investissement ou tout achat
- Améliorations continues afin de réduire la masse, la consommation de carburant, le bruit et les émissions



*Discussion sur les opérations aériennes*

Ottawa, 5-6 novembre 2002

# LES ÉCONOMIES DE CARBURANT

**Des efforts soutenus dans toutes les phases  
de la vie d'un produit (3)**



## Achat

- **Coopération étroite avec les constructeurs et les fournisseurs de moteurs et de nacelles**
- **Processus d'acceptation de la production des avions et des moteurs**
  - Surveillance et analyse attentives des données (cas précis, tendances et analyses statistiques)
  - La masse des systèmes de propulsion doit rester dans les limites imparties

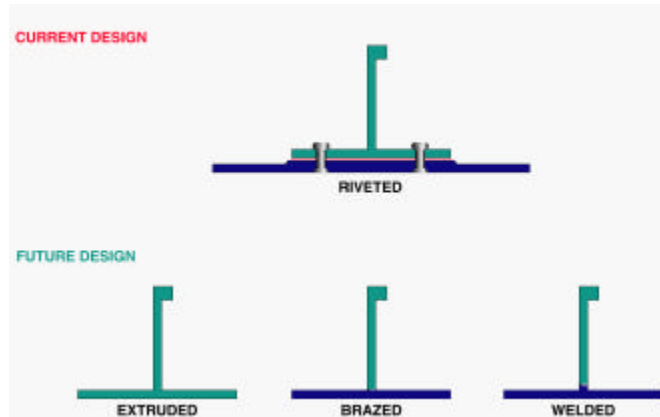
*Discussion sur les opérations aériennes*

Ottawa, 5-6 novembre 2002



# LES ÉCONOMIES DE CARBURANT

Des efforts soutenus dans toutes les phases de la vie d'un produit (4)



- Utilisation de techniques et de procédés qui garantissent les plus hauts niveaux de sécurité tout en contribuant à l'amélioration des performances
  - soudage : les structures de fuselage faisant appel à des panneaux entièrement raidis, extrudés ou soudés aux lisses, soutiennent très bien la comparaison, pour ce qui est de la masse et de la durabilité, avec les structures rivetées actuelles, pour lesquelles il faut augmenter l'épaisseur afin de tenir compte des trous des rivets.



*Discussion sur les opérations aériennes*

Ottawa, 5-6 novembre 2002

# LES ÉCONOMIES DE CARBURANT

## Des efforts soutenus dans toutes les phases de la vie d'un produit (5)



### Essais en vol, étalonnage

Accent mis sur les diagnostics et les corrections entourant la détérioration des performances :

- modélisation sophistiquée des performances des avions et des moteurs, réglée et extrapolée au domaine de vol complet, ce qui donne une base de référence consolidée pour les performances
- essais spécialisés de l'étanchéité des nacelles et de l'avion, etc.
- surveillance/analyse attentives des écarts dans les performances
- étalonnage initial et réglages subséquents du programme de calculs des performances de vol (IFP)
- corrections définies et lancées pour les normes de certification de l'avion ou incorporation le plus tôt possible



*Discussion sur les opérations aériennes*

Ottawa, 5-6 novembre 2002

# LES ÉCONOMIES DE CARBURANT

## Des efforts soutenus dans toutes les phases de la vie d'un produit (6)

### Livraison, exploitation en service

- **Livraison**
  - Aide aux compagnies au moment de l'entrée en service de l'avion
  - Familiarisation aux outils et aux procédures spécifiques permettant de minimiser la consommation de carburant
- **Appui en service (y compris documentation et formation)**
  - Fourniture de systèmes de bord et d'outils logiciels adaptés à la surveillance des performances des avions et des moteurs; analyse de données; autres mesures au besoin : logiciel APM
  - Surveillance de l'efficacité des procédures d'exploitation, de maintenance et de révision des avions et des moteurs (lavage moteur, décalaminage, nettoyage des avions, réfection des joints, réglages, ajustements, etc.)



*Discussion sur les opérations aériennes*

Ottawa, 5-6 novembre 2002



# ***LES ÉCONOMIES DE CARBURANT***

## **Des efforts soutenus dans tous les composants des avions (1)**

**(Les efforts déployés par les avionneurs et les motoristes au moment de la conception initiale doivent se poursuivre chez les exploitants, avec le soutien de ces mêmes avionneurs et motoristes)**

- **Matériaux et procédés permettant de réduire la masse des avions**
- **Aérodynamique**
- **Moteurs et nacelles**
- **Systèmes de bord**



# LES ÉCONOMIES DE CARBURANT

## Des efforts soutenus dans tous les composants des avions (2)

- **Matériaux et procédés**

- Utilisation de matériaux qui garantissent des caractéristiques de sécurité égales ou même supérieures tout en réduisant la masse de l'avion
  - composites
    - freins de roue en carbone, trappes de train d'atterrissage, panneaux d'aménagement et de plancher
    - gain de masse de 20 à 25 pour cent par rapport aux matériaux métalliques (1800 lb sur un A320)



# LES ÉCONOMIES DE CARBURANT

## Des efforts soutenus dans tous les composants des avions (3)

### ● Matériaux et procédés

- Utilisation de matériaux qui garantissent des caractéristiques de sécurité égales ou même supérieures tout en réduisant la masse de l'avion
  - composites
  - GLARE
- Nouveaux composites laminés en fibre de verre
- Utilisation envisagée dans la conception de la structure du fuselage

### ● Avantages (par rapport à l'aluminium)

- gains de masse de 15 à 28%
- meilleure résistance, meilleure tolérance à la fatigue et aux dommages
- résistance supérieure à l'inflammabilité
- excellente résistance à l'impact, à la corrosion et à la foudre
- facilité de maintenance

● Typical lay-up of GLARE





# LES ÉCONOMIES DE CARBURANT

## Des efforts soutenus dans tous les composants des avions (4)

- **Matériaux et procédés**

- Utilisation de matériaux qui garantissent des caractéristiques de sécurité égales ou même supérieures tout en réduisant la masse de l'avion
  - composites
  - GLARE
  - CFRP
    - . plastique renforcé de fibres de carbone
    - . utilisé sur l'A340-600



# ***LES ÉCONOMIES DE CARBURANT***

## **Des efforts soutenus dans tous les composants des avions (5)**

- **Matériaux et procédés**

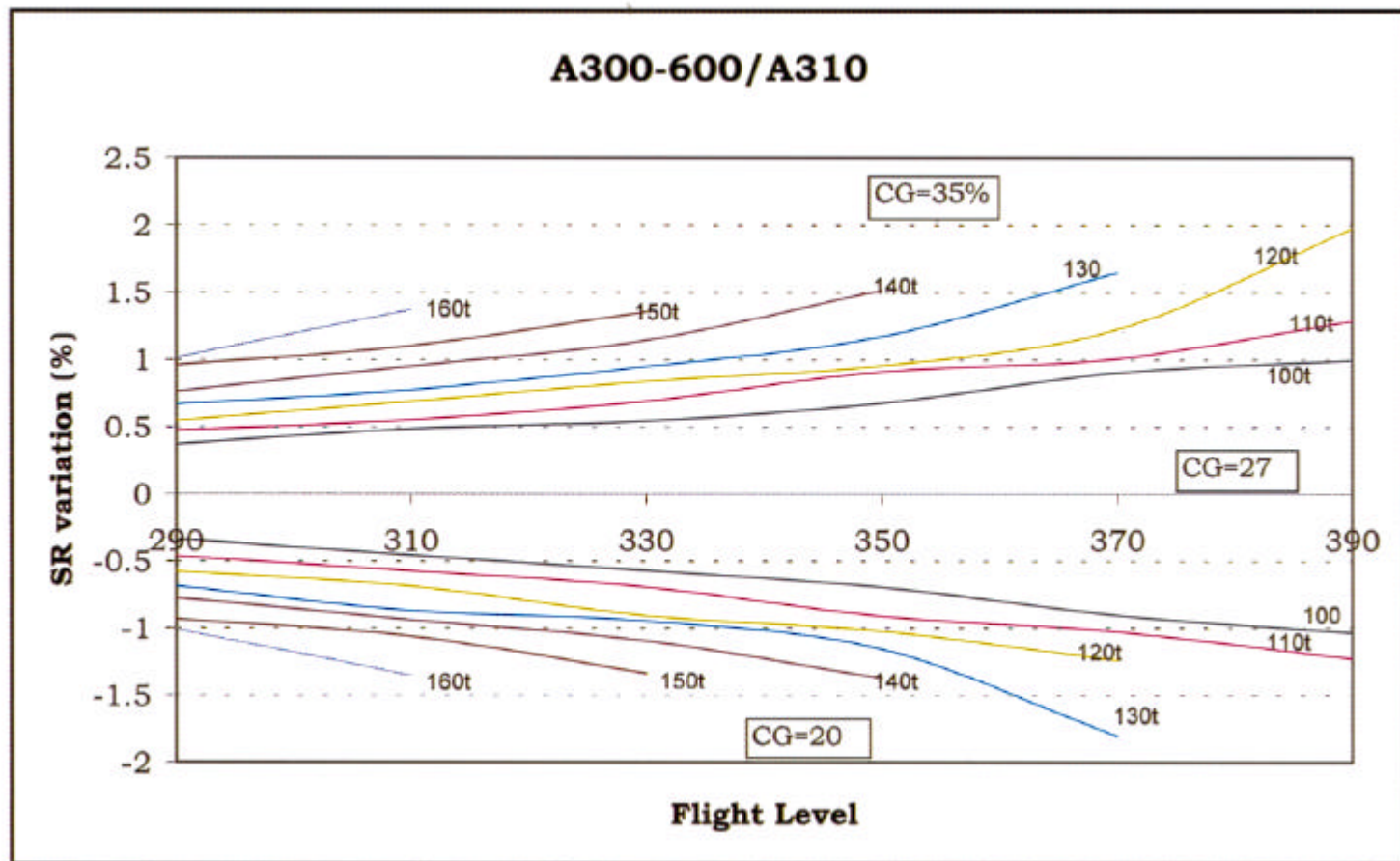
- Utilisation de matériaux qui garantissent des caractéristiques de sécurité égales ou même supérieures tout en réduisant la masse de l'avion
  - composites
  - GLARE
  - CFRP
  - commandes électriques
  - peintures
- Utilisation de matériaux qui ne nécessitent pas de maintenance lourde additionnelle afin de prévenir la détérioration et, par voie de conséquence, toute consommation supplémentaire
- Recommandation de certains procédés d'exploitation aux exploitants dans le but de minimiser la masse des avions



# LES ÉCONOMIES DE CARBURANT

Des efforts soutenus dans tous les composants des avions (6)

- Recommandations types faites aux exploitants





# ***LES ÉCONOMIES DE CARBURANT***

## **Des efforts soutenus dans tous les composants des avions (7)**

- **Recommandations types faites aux exploitants**

- Chargement de l'avion : le centrage le plus à l'arrière possible (à l'intérieur de la plage permise) augmente le rayon d'action spécifique.
- Éviter les excédents de poids; éliminer toute masse inutile afin d'abaisser le plus possible la masse sans carburant (ZFW) de l'avion.
  - Une masse supplémentaire d'une tonne peut augmenter la consommation de carburant de plus de 200 kg.



# ***LES ÉCONOMIES DE CARBURANT***

## **Des efforts soutenus dans tous les composants des avions (8)**

- **Recommandations types faites aux exploitants**

- Chargement de l'avion : le centrage le plus à l'arrière possible (à l'intérieur de la plage permise) augmente le rayon d'action spécifique.
- Éviter les excédents de poids; éliminer toute masse inutile afin d'abaisser le plus possible la masse sans carburant (ZFW) de l'avion.
- Minimiser la quantité de carburant à bord et la réserve d'urgence grâce à une planification de vol précise (surveillance de la consommation de carburant en fonction de la combinaison entre la route spécifique et le type d'avion).





# LES ÉCONOMIES DE CARBURANT

## Des efforts soutenus dans toutes les phases d'exploitation (1)

- **Point fixe et roulage : recommandations types**

- Restreindre le plus possible l'utilisation de l'APU (selon la disponibilité et le coût des GSE, selon la durée de l'escale, etc.)
- Planifier le démarrage des moteurs de concert avec l'ATC
- Rouler avec un ou deux moteurs éteints permet des économies de carburant, mais il faut tenir compte de certains inconvénients : les exploitants doivent fonder leur marche à suivre en fonction de la configuration de l'aéroport (voies de circulation, pistes, aires de trafic, etc.)
  - Le FCOM nécessite le démarrage de l'APU avant l'arrêt des moteurs pour éviter le courant transitoire
  - Pour les moteurs HBPR, après l'utilisation en mode inversé, une période de refroidissement est essentielle avant l'arrêt



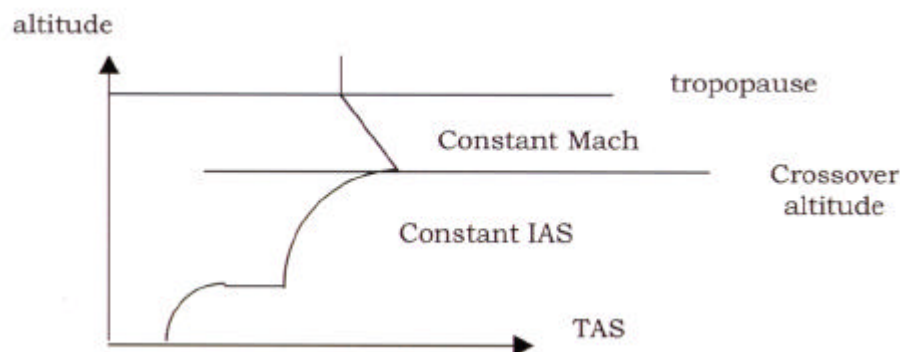


# LES ÉCONOMIES DE CARBURANT

## Des efforts soutenus dans toutes les phases d'exploitation (2)

### ● Montée

- Les règles de montée optimale varient en fonction du type d'avion, des modes choisis et des indices de coût
- En règle générale, il n'est pas profitable de grimper à haute vitesse, sauf en cas de contraintes de temps, ni de monter à très basse vitesse
- Le 1<sup>er</sup> FL optimal est situé au-dessus de l'altitude de croisement



*Discussion sur les opérations aériennes*  
Ottawa, 5-6 novembre 2002

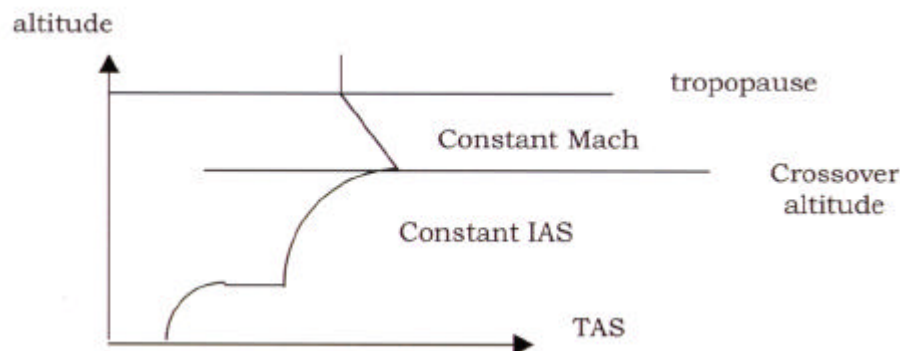


# LES ÉCONOMIES DE CARBURANT

## Des efforts soutenus dans toutes les phases d'exploitation (2)

### ● Montée

- Les règles de montée optimale varient en fonction du type d'avion, des modes choisis et des indices de coût
- En règle générale, il n'est pas profitable de grimper à haute vitesse, sauf en cas de contraintes de temps, ni de monter à très basse vitesse
- Le 1<sup>er</sup> FL optimal est situé au-dessus de l'altitude de croisement



*Discussion sur les opérations aériennes*  
Ottawa, 5-6 novembre 2002

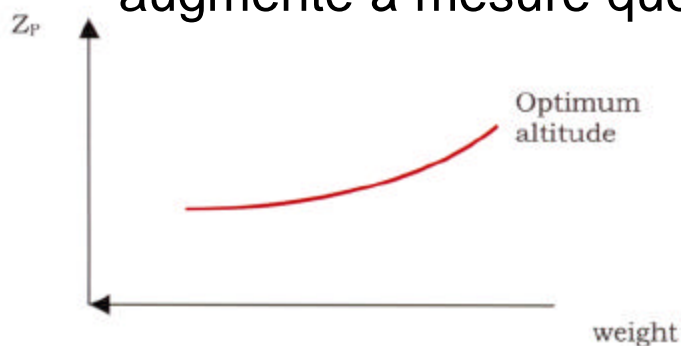


# LES ÉCONOMIES DE CARBURANT

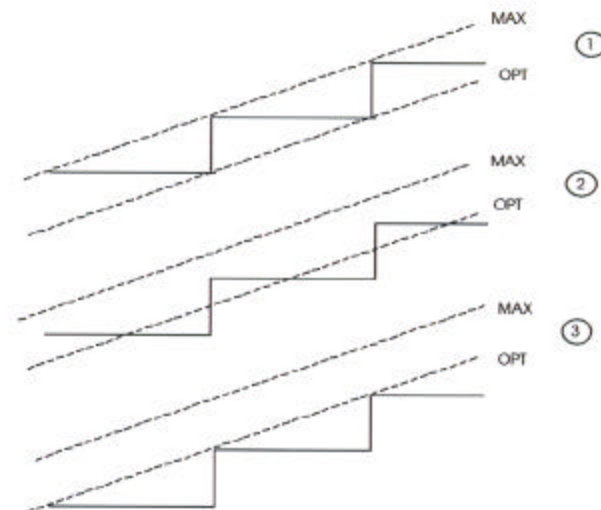
## Des efforts soutenus dans toutes les phases d'exploitation (3)

### • Montée par paliers

- L'altitude optimale (en fonction du temps et des coûts) augmente à mesure que la masse diminue.



- Lorsque l'ATC l'autorise, la montée par paliers permet de demeurer près de l'altitude optimale.
- Il faut éviter de retarder le passage au palier suivant



# LES ÉCONOMIES DE CARBURANT

## Des efforts soutenus dans toutes les phases d'exploitation (4)

### ● Vol de croisière

- Le vol de croisière est la phase la plus importante en ce qui concerne les économies de carburant
- L'altitude et la vitesse de croisière optimales varient en fonction du type d'avion, de la masse, du vent et de l'indice de coût (CI)
- La plus faible consommation de carburant s'obtient à l'indice de coût le plus bas (il faut toutefois tenir compte des contraintes de temps)
  - Un A330 au FL350, économise 50 kg de carburant par 10 minutes de temps de vol supplémentaire entre  $CI=0$  et  $CI=20$ .
- Le FMS optimise le plan de vol (y compris le profil de vol) en conséquence, et le FCOM contient des renseignements supplémentaires pour aider le pilote à effectuer l'optimisation





# LES ÉCONOMIES DE CARBURANT

## Des efforts soutenus dans toutes les phases d'exploitation (5)

- Vol de croisière

- Dans la mesure du possible, il est recommandé de voler en mode de gestion de carburant (à l'aide du FMS). En effet, en volant selon un CI donné, on s'assure de voler au nombre de Mach optimal en fonction de la masse de l'avion, de niveau de vol et de la composante de vent.
- Si l'ATC impose le MN, l'équipage ne peut alors optimiser que l'altitude et voler en mode sélectionné. Le FCOM fournit alors l'information et les recommandations
  - une montée en palier n'est profitable que si le temps de vol en croisière est suffisamment long



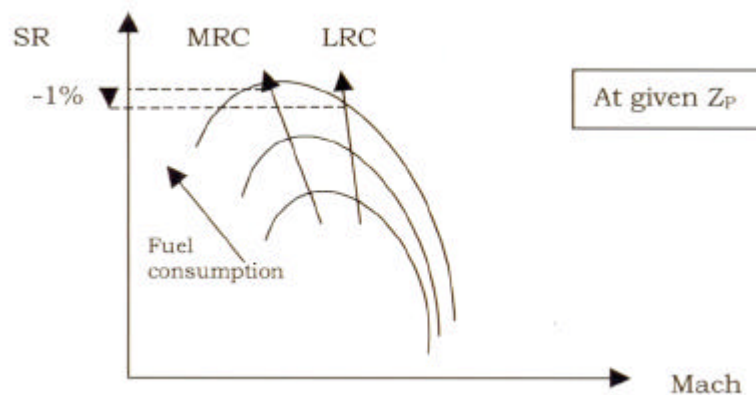
# LES ÉCONOMIES DE CARBURANT

## Des efforts soutenus dans toutes les phases d'exploitation (6)

### • Vol de croisière

- Si l'ATC impose le niveau de vol, l'équipage ne peut alors optimiser que la vitesse et voler en mode sélectionné. Le FCOM fournit alors l'information et les recommandations

- il est recommandé de voler au LRC
- le vent doit être bien évalué...

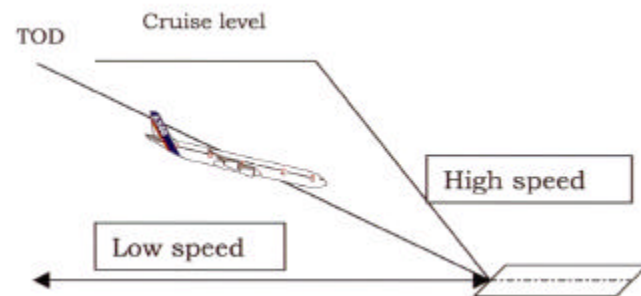


# LES ÉCONOMIES DE CARBURANT

## Des efforts soutenus dans toutes les phases d'exploitation (7)

### ● Descente

- La consommation de carburant augmente significativement avec la vitesse et aussi en cas d'une descente prématurée
  - Le rendement en descente varie en fonction du type d'avion, de la masse et de l'indice de coût
  - La consommation de carburant est la plus basse lorsque : l'indice de coût est bas, la vitesse est basse, l'angle de la trajectoire de descente est peu prononcé, la distance de descente est plus longue, le temps de descente est plus long et le point de début de descente (TOD) est plus hâtif.



- Le FMS calcule le TOD en fonction de l'indice de coût.



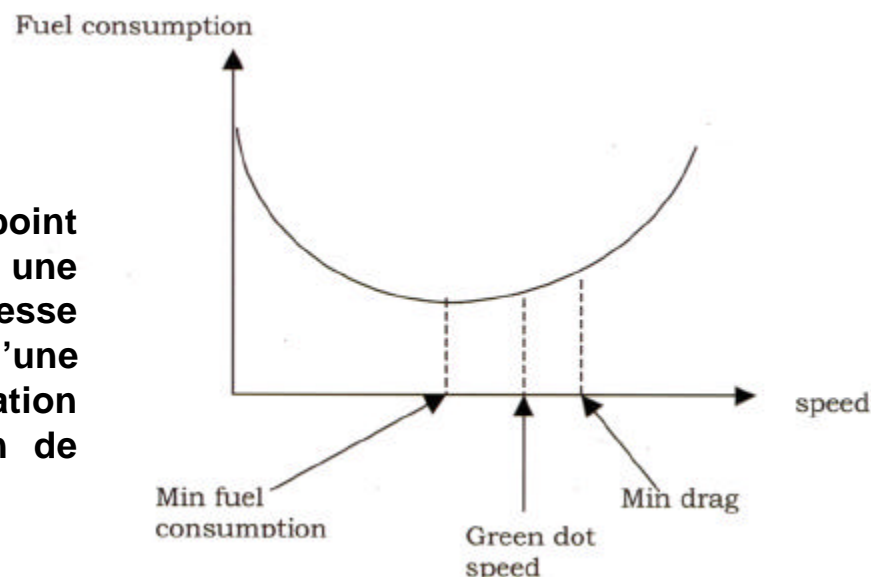
# LES ÉCONOMIES DE CARBURANT

## Des efforts soutenus dans toutes les phases d'exploitation (8)

### ● Attente

- La vitesse point vert est la vitesse d'exploitation avec un ou deux moteurs à l'arrêt en configuration lisse; comme cette vitesse correspond approximativement à la plus grande finesse aérodynamique, c'est également la vitesse qui offre la plus faible consommation de carburant

En fait, la vitesse point vert permet une augmentation de vitesse significative au prix d'une très faible augmentation de la consommation de carburant.





# LES ÉCONOMIES DE CARBURANT

## Des efforts soutenus dans toutes les phases d'exploitation (9)

### ● Attente

- La vitesse point vert est la vitesse d'exploitation avec un ou deux moteurs à l'arrêt en configuration lisse; comme cette vitesse correspond approximativement à la plus grande finesse aérodynamique, c'est également la vitesse qui offre la plus faible consommation de carburant

—

- Cependant, lorsque la masse augmente et que la vitesse point vert dépasse la vitesse maximale recommandée, il est conseillé d'attendre en config. 1 à la vitesse S afin de conserver la même marge de sécurité; sinon, le vol pourrait devenir dangereux en présence de turbulences
- Il existe une altitude d'attente optimale, mais les altitudes d'attente sont souvent imposées par l'ATC
- Dans la mesure du possible, on devrait effectuer une attente linéaire au niveau de croisière, à la vitesse point vert, avec la configuration la plus lisse possible (une reconnaissance hâtive d'un délai d'attente aide à planifier et à minimiser la pénalité)

*Discussion sur les opérations aériennes*

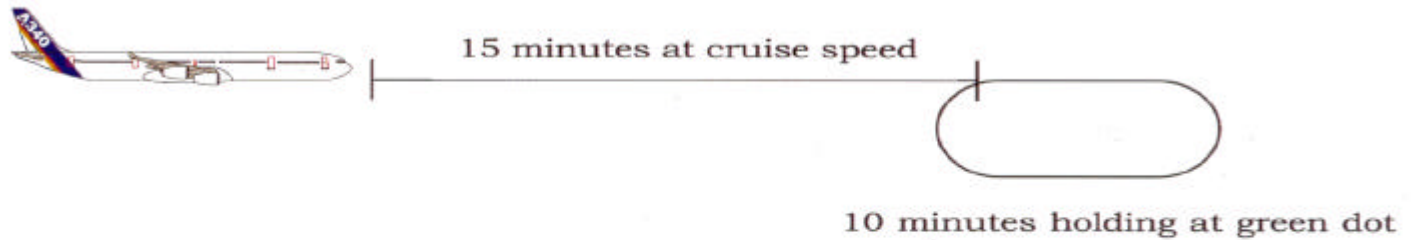
Ottawa, 5-6 novembre 2002

29

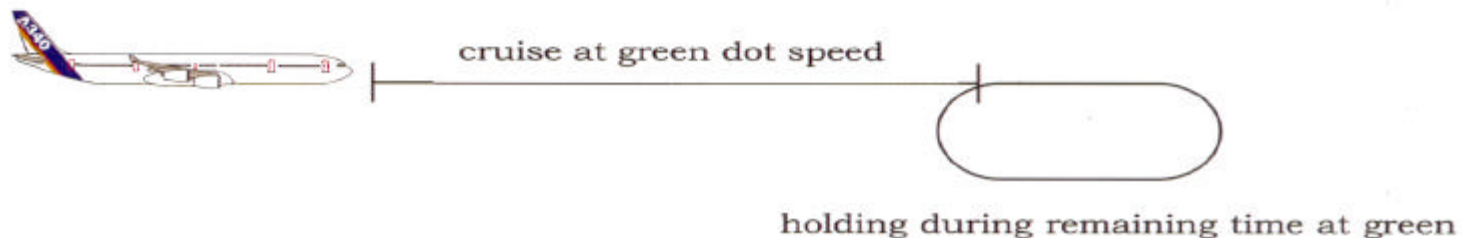


# LES ÉCONOMIES DE CARBURANT

## Holding at cruise level



## Holding optimisation



# LES ÉCONOMIES DE CARBURANT

## Des efforts soutenus dans toutes les phases d'exploitation (10)

- Approche

- Pour éviter toute consommation de carburant supplémentaire, il faut éviter de sortir prématurément le train, les becs ou les volets
- Une approche avec décélération permet d'économiser le carburant par rapport à une approche stabilisée, dans la mesure où les conditions et la sécurité le permettent



# ***LES ÉCONOMIES DE CARBURANT***

## **Autres occasions actuelles**

- Le concept de la famille d'avions, l'utilisation extensive de procédés techniques concurrents, le recours à des maquettes virtuelles, les moyens d'essais par simulation de plus en plus sophistiqués (logiciel, laboratoire, simulateurs), la meilleure fiabilité des systèmes, réduisent la durée des essais au sol et en vol, le nombre des vols de convoyage et certains essais en vol nécessaires au maintien de la navigabilité
  - la procédure CCQ/MFF permet une courte formation de transition des équipages, et les vols d'entraînement peuvent être remplacés par des sessions en simulateur
- Améliorations du FMS et améliorations de la détection du mauvais temps
- Facteurs de charge maximisés, avec optimisation des combinaisons avion/route
- Les RVSM (minimums d'espacement vertical réduits) permis en Europe depuis janvier 2002 permettent de voler plus près de l'altitude optimale quant à la consommation de carburant





# LES ÉCONOMIES DE CARBURANT

## Autres considérations

- Dans le domaine de la conception, Airbus participe à d'intenses recherches, actuellement en cours, portant sur la réduction de la consommation de carburant et des émissions. Certaines avancées opérationnelles devraient probablement en découler.
- Échanges
  - émissions-émissions (p. ex. NOx contre CO2)
  - émissions-bruit (p. ex. Bruit contre CO2 , Bruit contre NOx)
- Des efforts conjoints (constructeurs, exploitants, aéroports, autorités, financiers, passagers) sont nécessaires pour bien faire correspondre l'offre en services de transport aérien à la demande d'un système efficace de transport aérien de passagers et de fret



# LES ÉCONOMIES DE CARBURANT

**MERCI**



*Un objectif permanent et omniprésent  
chez Airbus*

*Discussion sur les opérations aériennes  
Ottawa, 5-6 novembre 2002*

