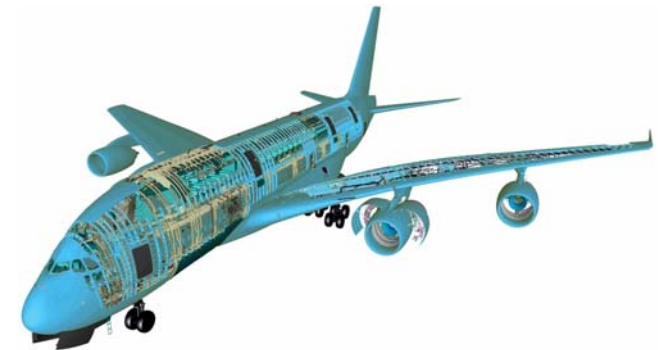


# Conception des pilotes automatiques et Facteurs Humains

## L'âge de la maturité



# Ma trajectoire personnelle

- **1995-1998: SFACT, complexité et conscience de la situation**
  - ▶ développement d'une description du pilote automatique basée sur les scénarios de transition
  - ▶ développement d'une métrique de complexité cognitive
  - ▶ application au Boeing B737-300
- **1999-2000: Airbus, connaissance du pilote automatique A340 par les pilotes**
  - ▶ modélisation complète du pilote automatique de l'A340
  - ▶ étude de la connaissance du modèle par les pilotes
- **2002-2004: étude de la cohérence du pilote automatique de l'A380 et de l'A340**
  - ▶ modélisation des pilotes automatique A380 et A340
  - ▶ étude de la cohérence de fonctionnement à l'aide de méthodes manuelles et automatiques
- **2003-2004: support à la documentation opérationnelle A380**
  - ▶ détermination des besoins pour la rédaction du FCOM et du CBT A380 (ATA 22)
  - ▶ production automatique des descriptions standards pour les scénarios de transition A380
- **2003-2005 : encadrement projet ISAAC**
  - ▶ support à la modélisation cognitive du pilote et prédiction des simplifications procédurales
- **2005- : support à la conception des pilotes automatiques**
  - ▶ développement de formalismes et d'outils de modélisation et de méthodologies FH
  - ▶ aide à la modélisation
  - ▶ application dans le cadre d'un programme avion

# Plan de l'exposé

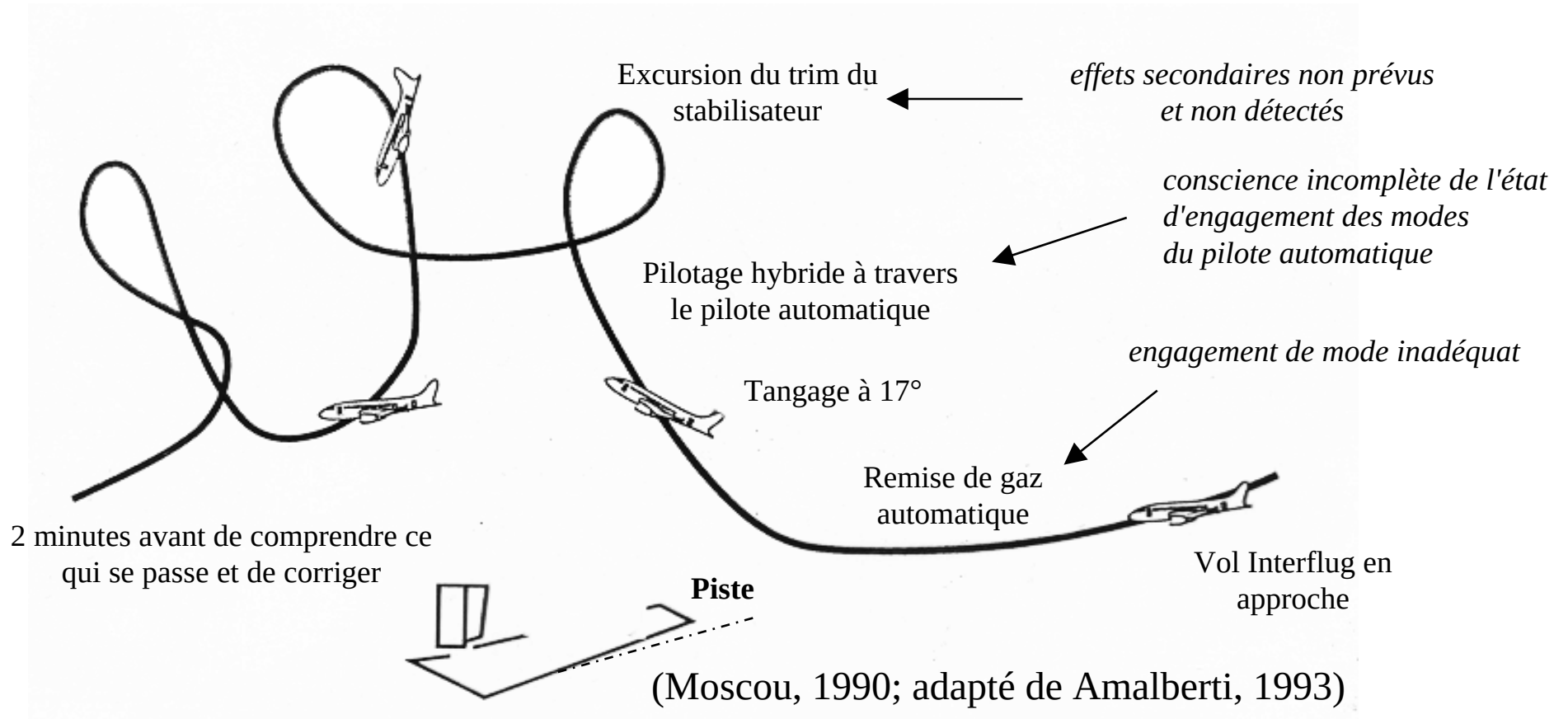
## Introduction

- le pilotage. Un problème de contrôle
- le pilote automatique. Comment ça marche ?
- le pilote automatique en opération

## Le travail avec Airbus

- les descriptions de haut niveau
- la cohérence de fonctionnement du pilote automatique

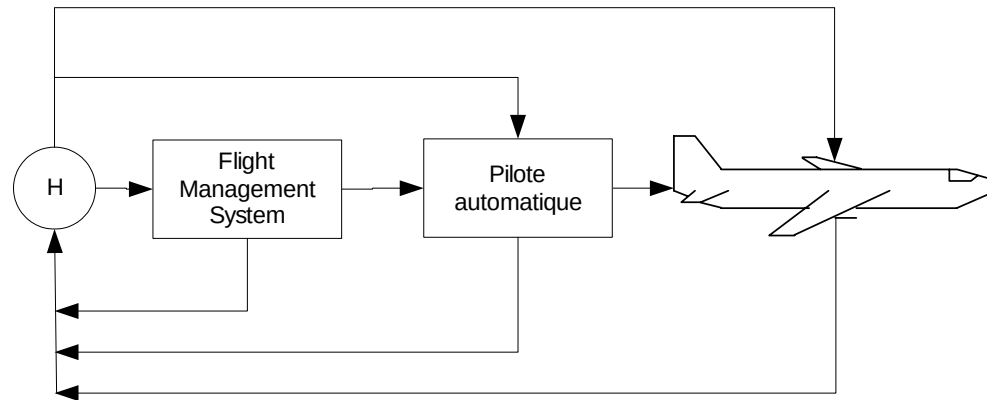
# Préambule



Problèmes analogues: **Orly 1994 (pas de victimes), Nagoya 1994 (264 victimes).**

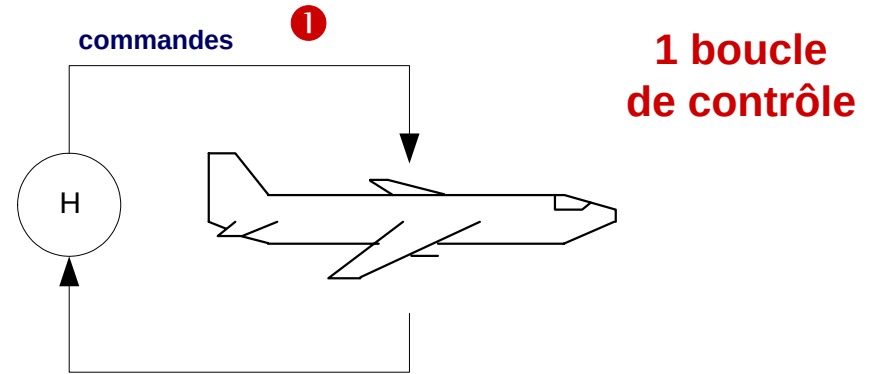
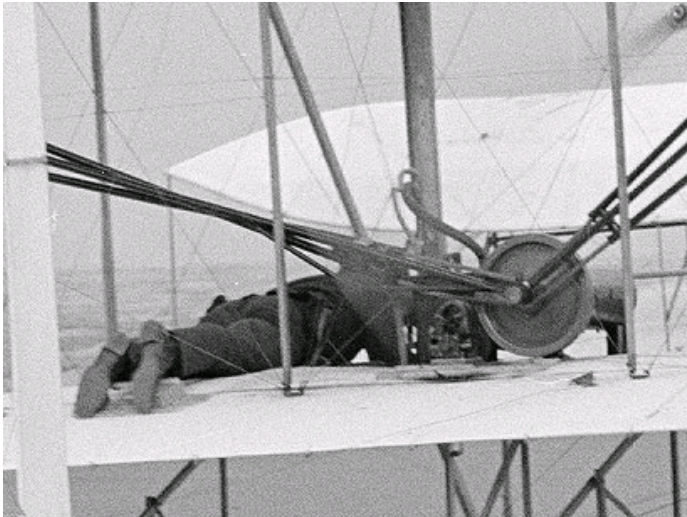
# Le pilotage.

## Un problème de contrôle





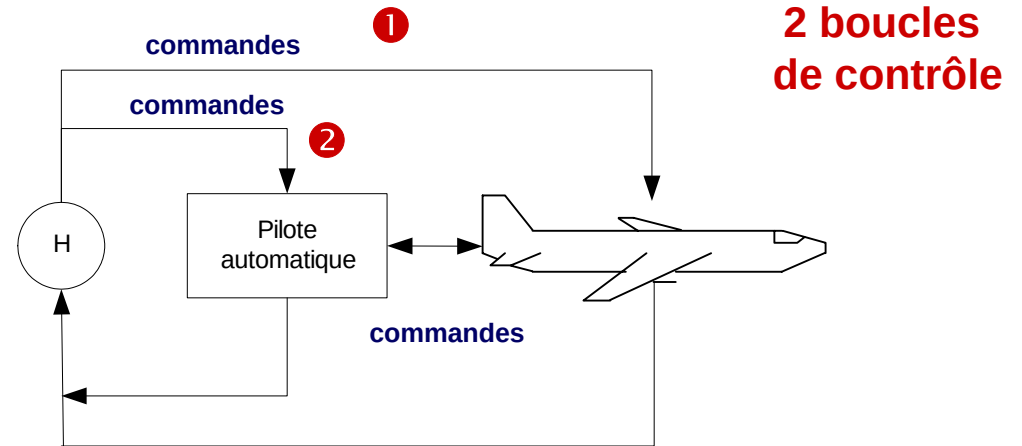
**Le Flyer des frères Wright**



- Le pilote **contrôle** lui-même les **paramètres** de trajectoire de l'avion
  - ▶ attitude: tangage, roulis, lacet
  - ▶ position: altitude, latitude, longitude
- **Premier vols contrôlés (planeurs)**
  - ▶ Georges Cayley (1853), Otto Lilienthal (1891)
- **Premier vol motorisé et contrôlé**
  - ▶ O. & W. Wright, le 17 décembre 1903, à Kitty Hawk.
  - ▶ seul le 4ème vol (279 m, 59 s) est contrôlé
  - ▶ l'avion, difficile à contrôler, se brise au 4ème vol
  - ▶ peu de temps après, une rafale de vent détruit irrémédiablement le Flyer I



Le Winnie Mae  
(Lockheed 5C "Vega")

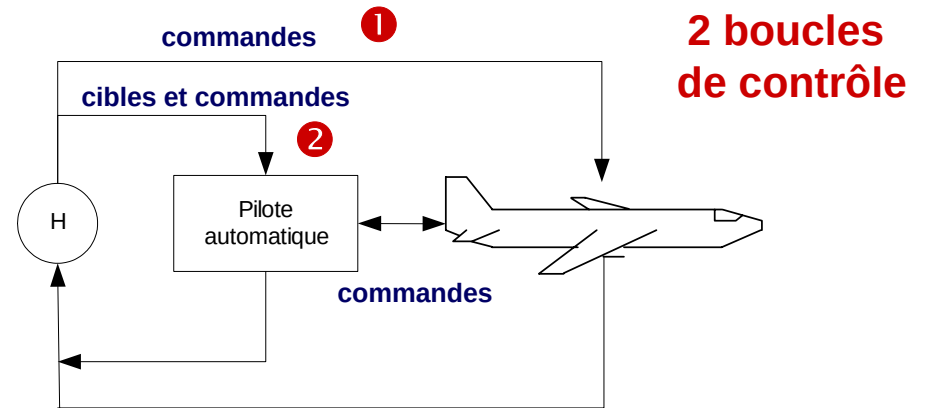


- Le pilote automatique **maintient** un ou plusieurs **paramètres** autour de la **valeur courante** (au moment de l'engagement)
  - ▶ Hiram Maxim, 1891: tangage (gyroscopique)
  - ▶ O. & W. Wright, 1913: tangage + roulis + lacet (pendule + pale)
  - ▶ Sperry, 1914, tangage + roulis (gyroscopique)
  - ▶ Sperry, 1933, tangage + roulis + lacet (gyroscopique).
- Le modèle 3 axes de Sperry a permis à W. Post de faire le premier tour du monde en solo (1933) sur le Winnie Mae, en 7 jours, 18 heures et 49 minutes
- Airbus A320 (1987) et successeurs: stabilisation d'attitude dans les lois de commandes de vol





Boeing B737-200



- Le pilote automatique **conduit et maintient** un ou plusieurs **paramètres** autour de **valeurs cibles** spécifiées par le **pilote**
  - ▶ typiquement altitude, cap et vitesse
  - ▶ délégation de tâches tactiques (court terme)
  - ▶ les modèles avancés permettent de contrôler des paramètres autour de valeurs cibles spécifiées vis-à-vis d'un référent extérieur à l'avion (e.g. signaux radio localizer et glideslope pour l'approche automatique, GPS)
- Le pilote automatique présente des **modes**
  - ▶ les modes sont des fonctions élémentaires du pilote automatique, capable de réaliser des tâches de contrôle spécialisées: e.g., **ALT** maintien d'altitude, **HDG** maintien d'un cap, **SPEED** maintien d'une vitesse

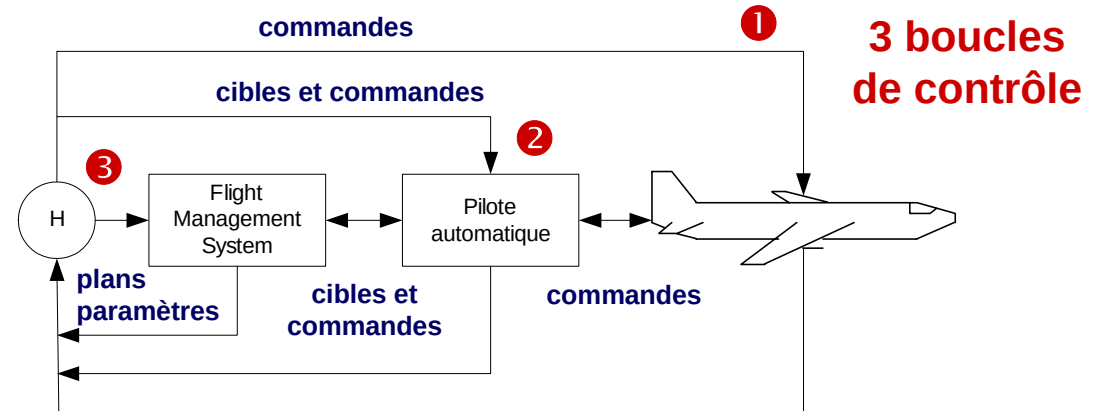




Airbus A380



© Airbus, 2005



Le pilote automatique **conduit et maintient** un ou plusieurs **paramètres** autour de **valeurs cibles** spécifiées par le **pilote** ou le **Flight Management System (FMS)**.

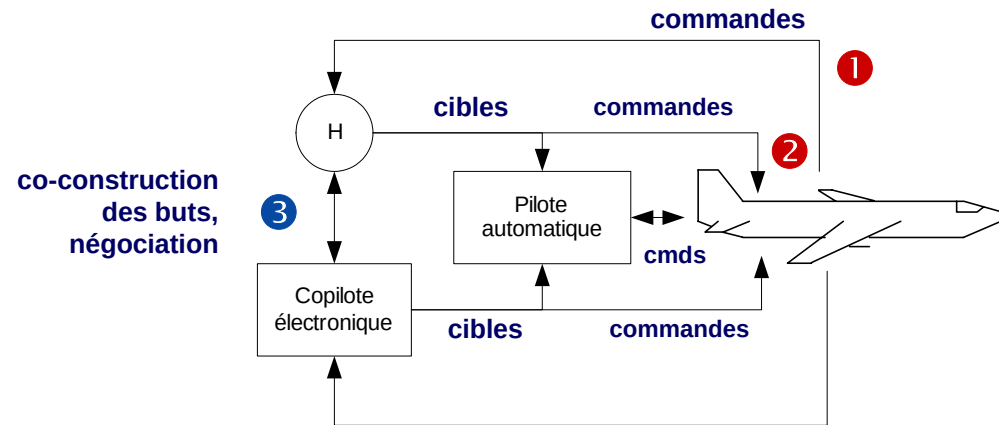
- ▶ Les **cibles** calculées par le FMS sont produites sur base de
  - plans (de vol)
  - paramètres définis par le pilote
- ▶ délégation de tâches stratégiques (à long terme)



Vision futuriste d'une aile volante



Androïde Data (Star Trek)

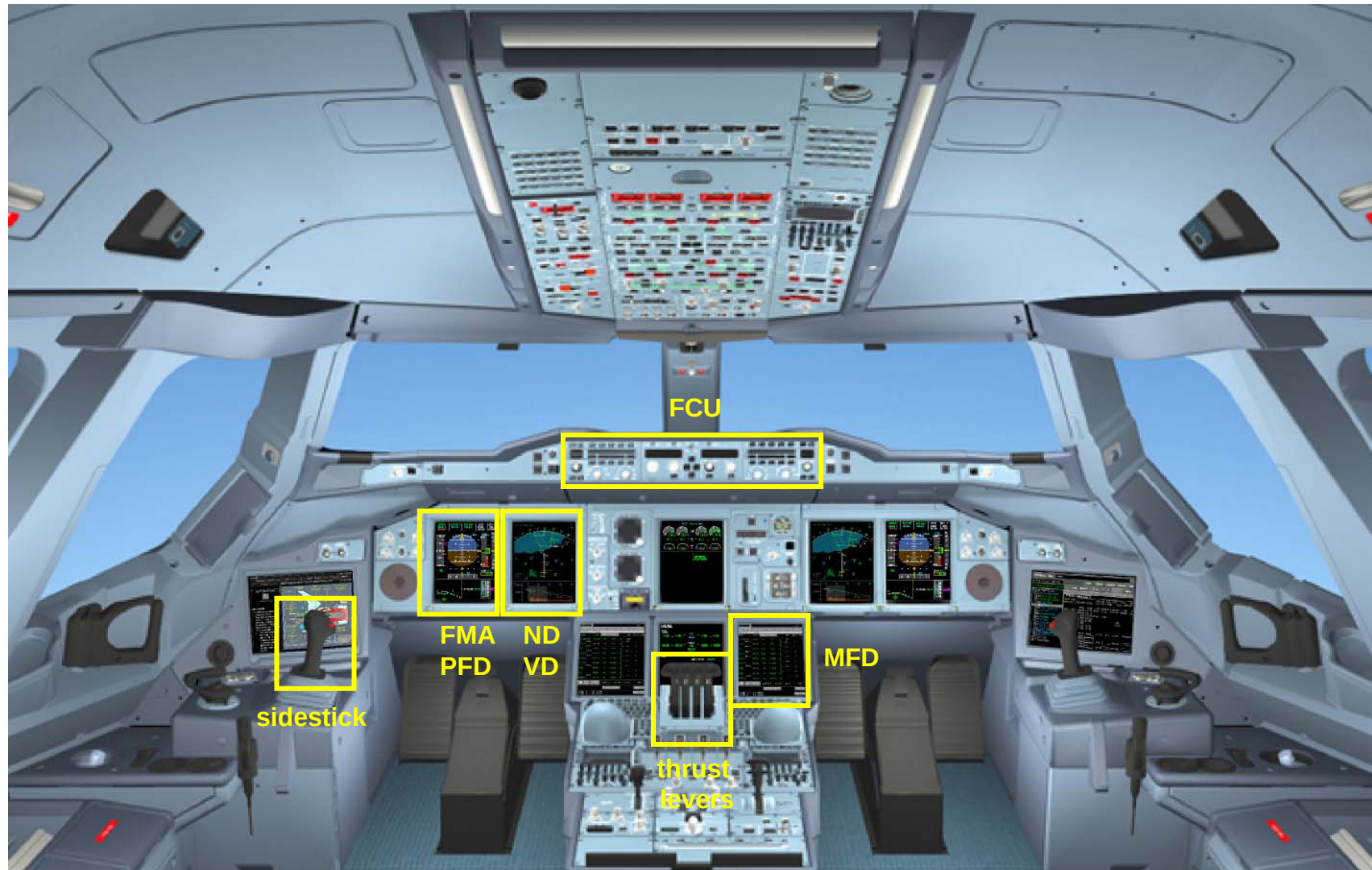


- Le **copilote électronique** et le pilote **coopèrent** pour contrôler un ou plusieurs paramètres
  - ▶ la relation n'est plus une relation de **contrôle** mais de **coopération**
  - ▶ communication fluide, robuste et bi-directionnelle entre le pilote et le copilote électronique
  - ▶ reconnaissance mutuelle d'intention (y compris par le copilote électronique)
  - ▶ allocation dynamique des tâches et négociée
- **Développements en ce sens**
  - ▶ Cockpit Control Language (Vic Riley, 2001)
  - ▶ Intentional Flight Mode Annunciator (Feary & Sherry, 1998)
  - ▶ prototype Mode Control Panel Boeing (Boorman & Mumaw, 2004)
- **Difficile cependant**
  - ▶ challenges technologiques : e.g., reconnaissance d'intention
  - ▶ difficultés de certification : intelligence artificielle, déterminisme faible
  - ▶ pilotage 'full automatic' pourrait être plus simple et plus sûr à implémenter

# Le pilote automatique dans un cockpit moderne



© Airbus, 2005



© Airbus, 2005





FCU



sidestick



MFD

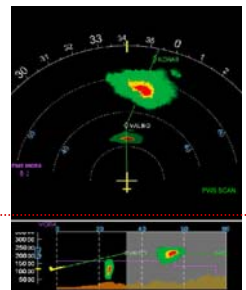


FMA

PFD

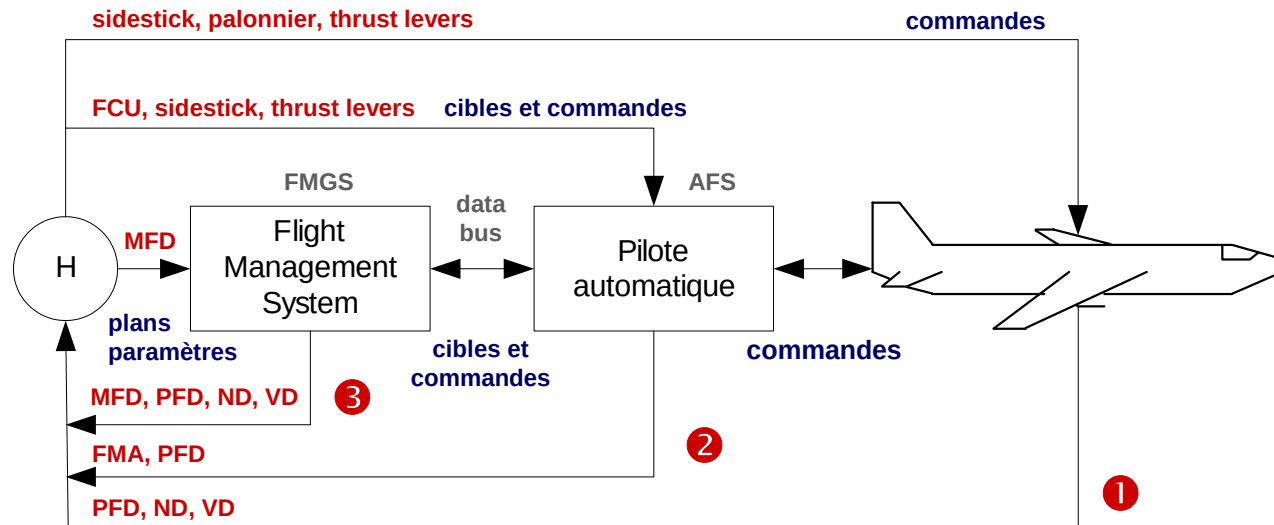


thrust levers

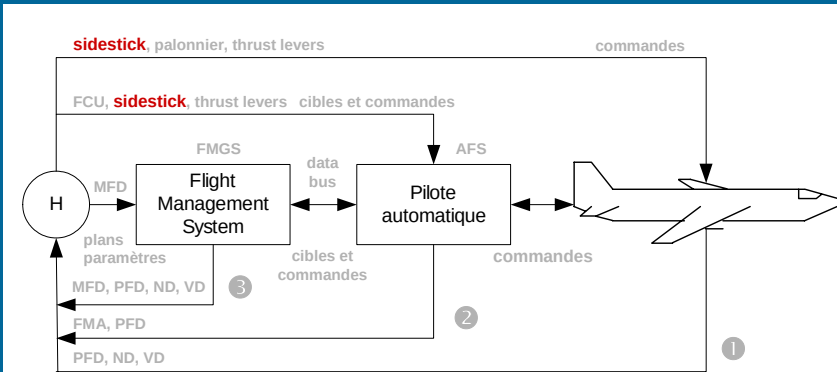


ND

VD

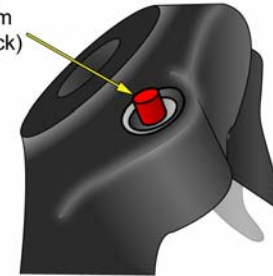


Famille Airbus (A320+)



### Sidestick

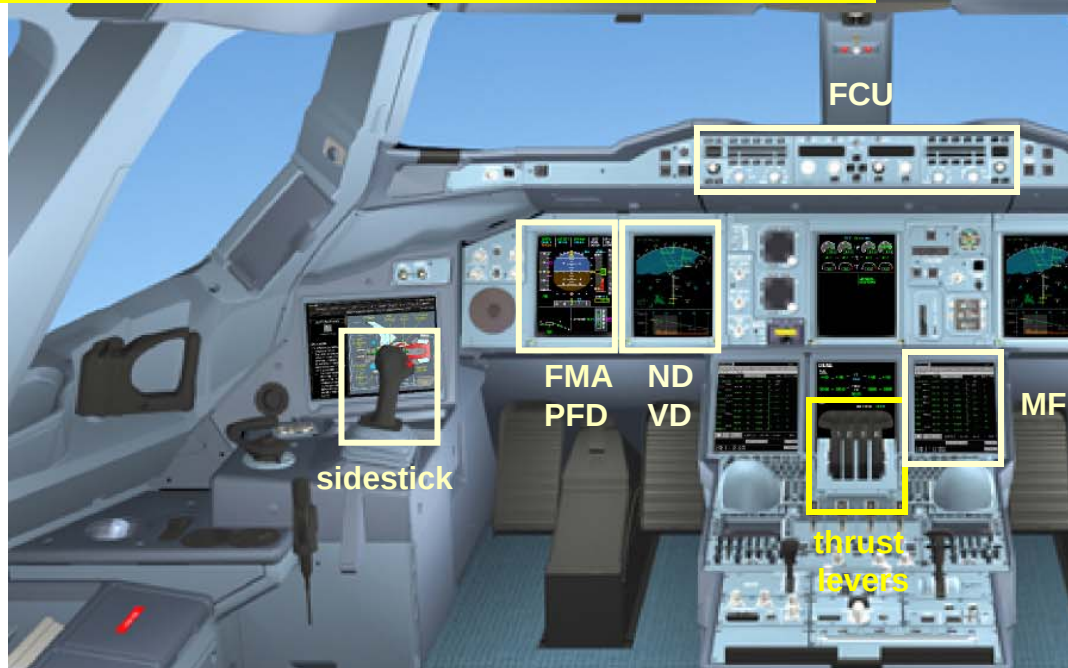
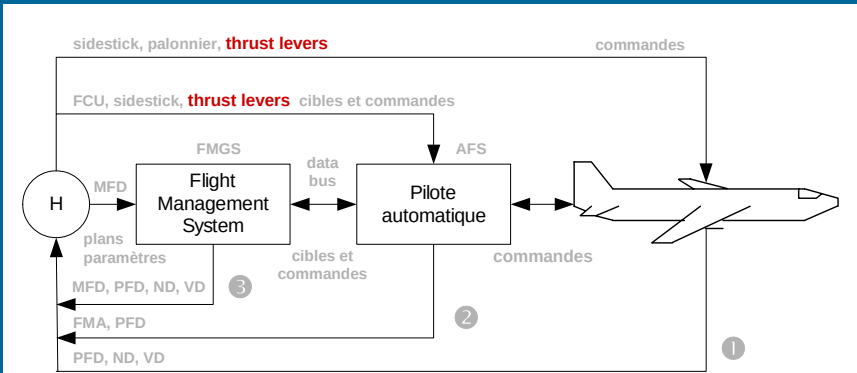
Takeover pb  
(AP instinctive  
disconnection  
or takeover from  
opposite sidestick)



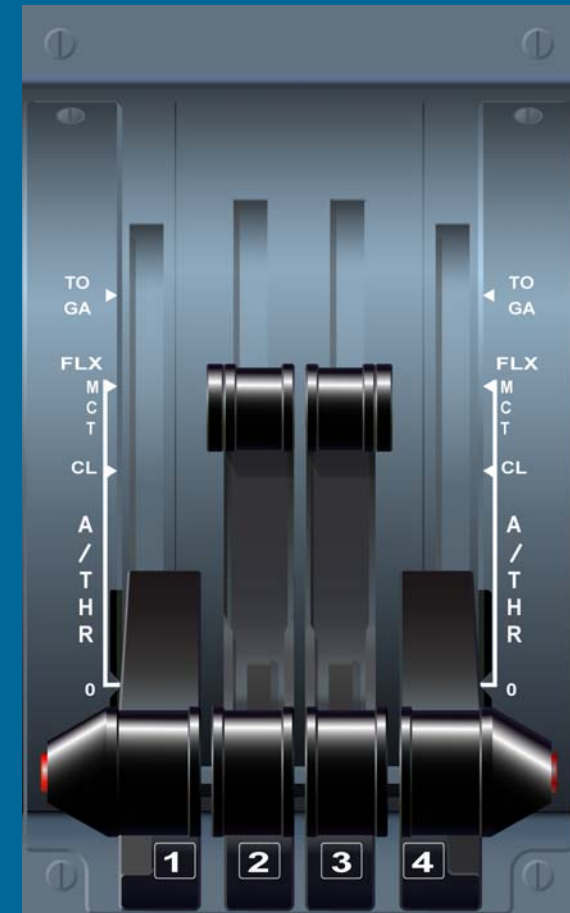
© Airbus, 2005







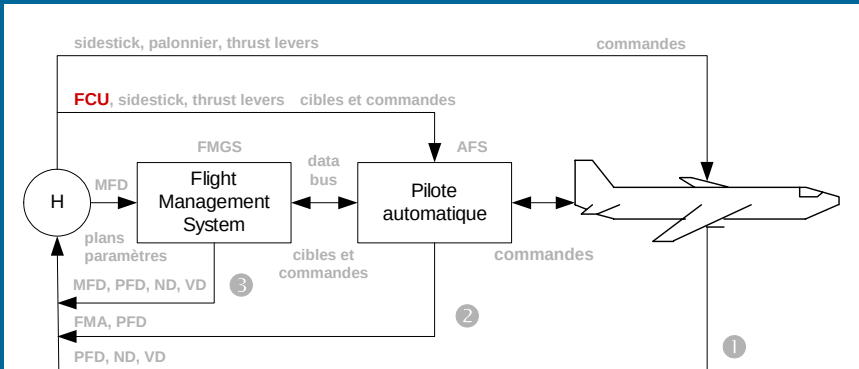
### Thrust levers



© Airbus 2005

# Les interfaces hommes-machines

# Cockpit A380

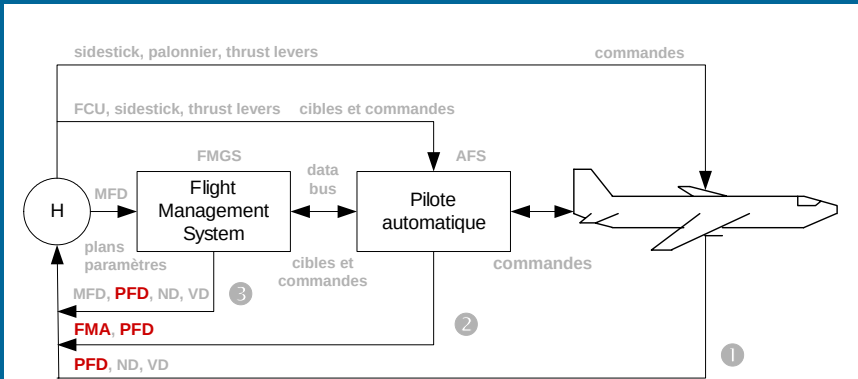


## Flight Control Unit (FCU)

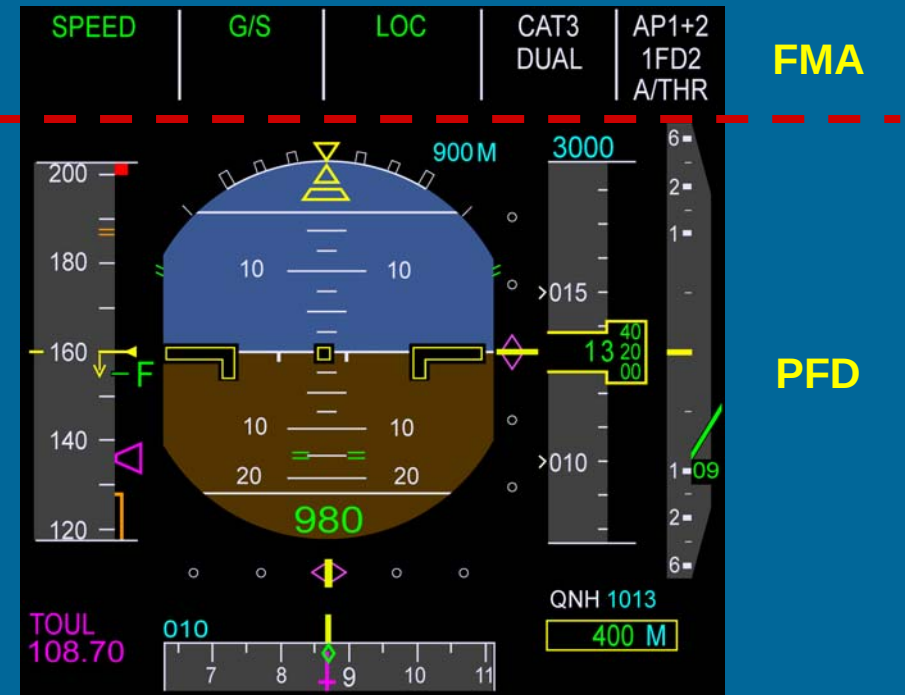


© Airbus, 2005





### Flight Mode Annunciator (FMA) et Primary Flight Display (PFD)

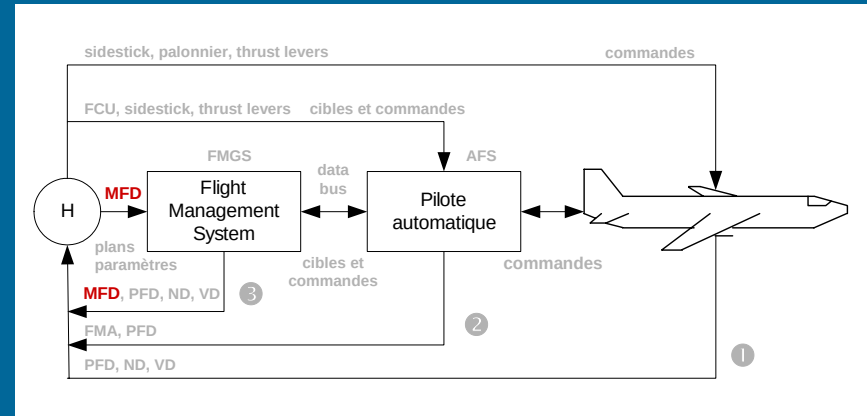




### Multi Function Display

| ACTIVE / FPLN                                                                                     |          |     |                |      |      |     |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-----|----------------|------|------|-----|--|
| FROM                                                                                              | UTC      | SPD | ALT            | TRK  | DIST | FPA |  |
| SPOOK                                                                                             | 07:25    | 230 | 3000           |      |      |     |  |
| HOLD R                                                                                            | HOLD SPD | 230 |                |      |      |     |  |
|                                                                                                   |          |     | IMMEDIATE EXIT | C230 | *T   | 10  |  |
| SPOOK                                                                                             | 07:38    | 230 | 3000           |      |      |     |  |
| V268                                                                                              |          |     |                |      |      |     |  |
| (UTC)                                                                                             | 07:39    | "   | 5000           | 093  | *    | 9   |  |
| V268                                                                                              |          |     |                | 056  | *    | 38  |  |
| OOD                                                                                               | 07:44    | "   | 10000          |      |      |     |  |
| J42                                                                                               |          |     |                | 060  | *    | 18  |  |
| MONTT                                                                                             | 07:46    | 230 | FL150          |      |      |     |  |
| HOLD L                                                                                            | HOLD SPD | 230 |                | C236 | *T   | 0   |  |
| MONTT                                                                                             | 07:51    | 230 | FL150          |      |      |     |  |
| J62                                                                                               |          |     |                | 084  | *    | 18  |  |
| JOANI                                                                                             | 07:53    | "   | FL300          |      |      |     |  |
| <div> <div>DEST</div> <div>LFPG</div> <div>14:40</div> <div>7.1 T</div> <div>3146 NM</div> </div> |          |     |                |      |      |     |  |
| <div> <div>FPLN INFO</div> <div>DIR TO</div> </div>                                               |          |     |                |      |      |     |  |
| <div> <div>LINE 1 - 35 CHAR</div> <div>MSG LIST</div> </div>                                      |          |     |                |      |      |     |  |

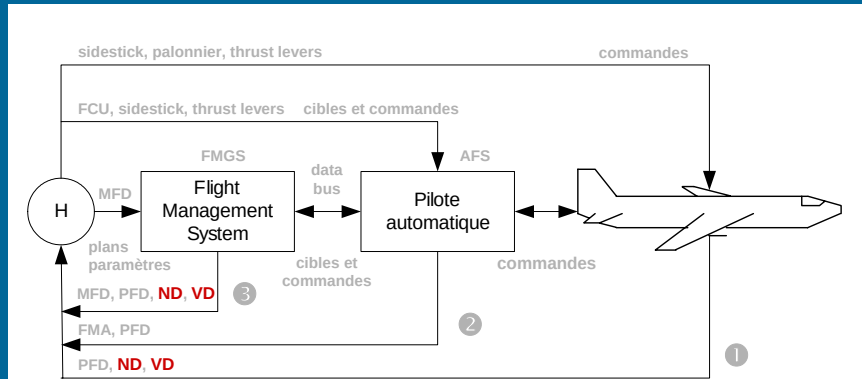
© Airbus, 2005



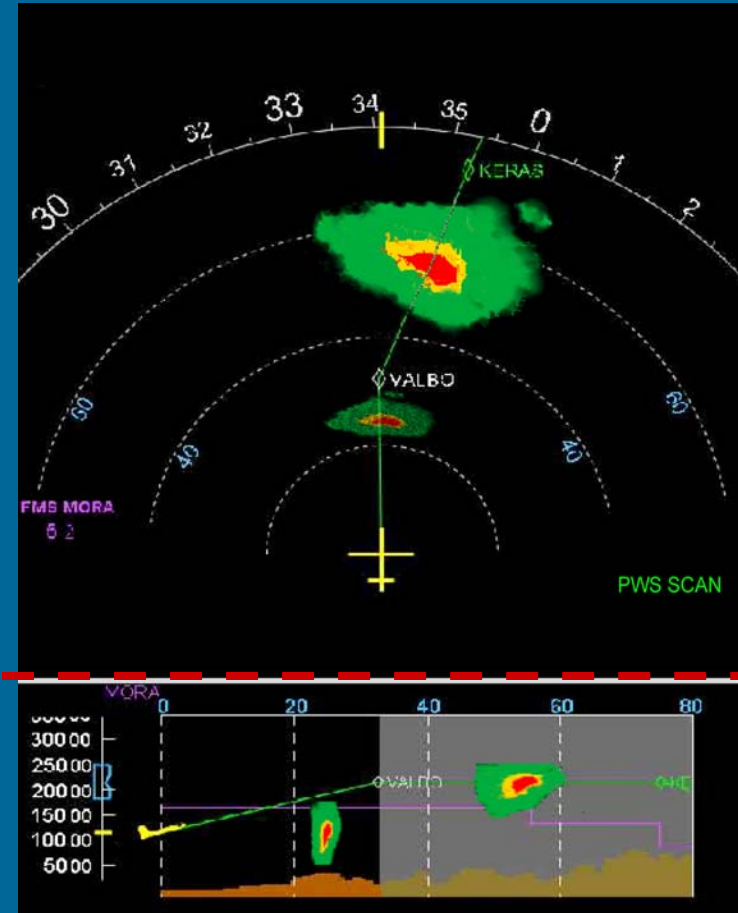
FCU

MFD

thrust levers



### Navigation Display (ND) et Vertical Display (VD)



ND

VD

© Airbus, 2005





# Le pilote automatique. Comment ça marche ?



© Airbus, 2005

- **Mode**

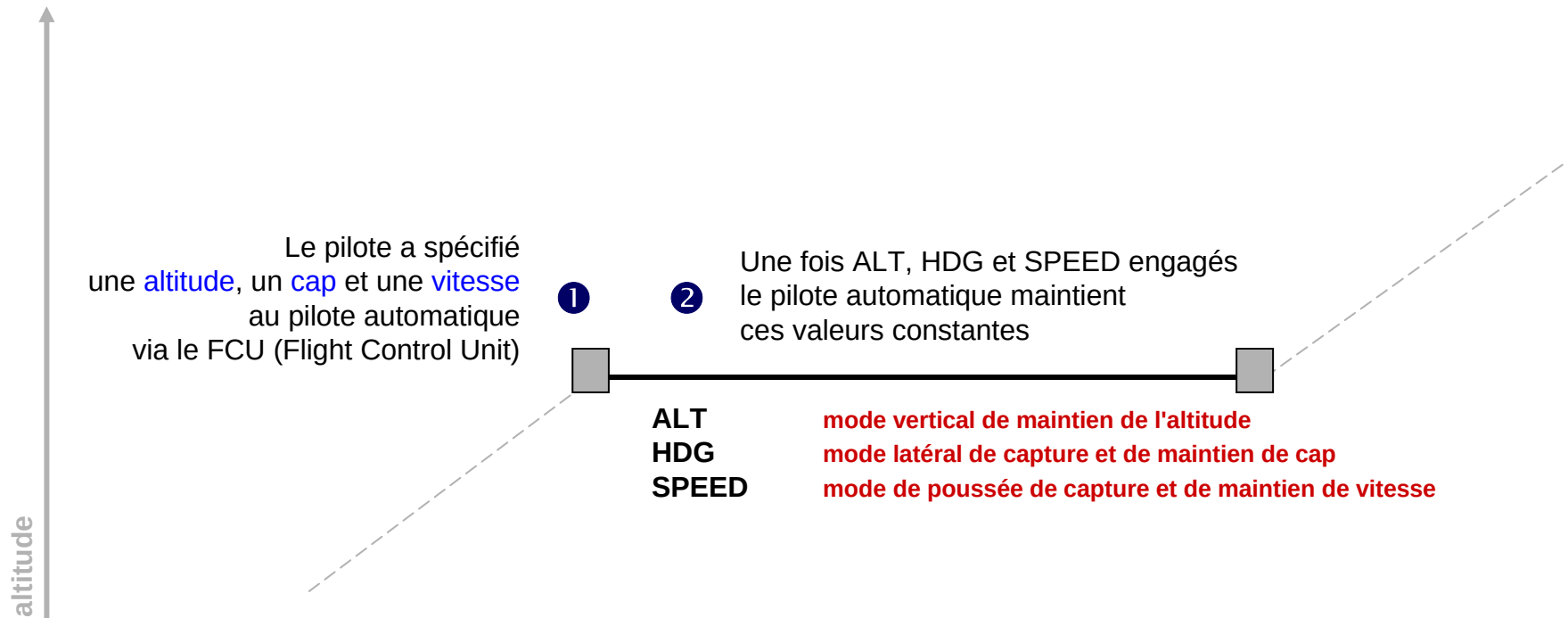
- ▶ une **fonction** élémentaire du pilote automatique assurant une **tâche de contrôle spécialisée**
- ▶ associés à une ou plusieurs **lois de contrôle** (implémentation)

- **Différents types de modes**

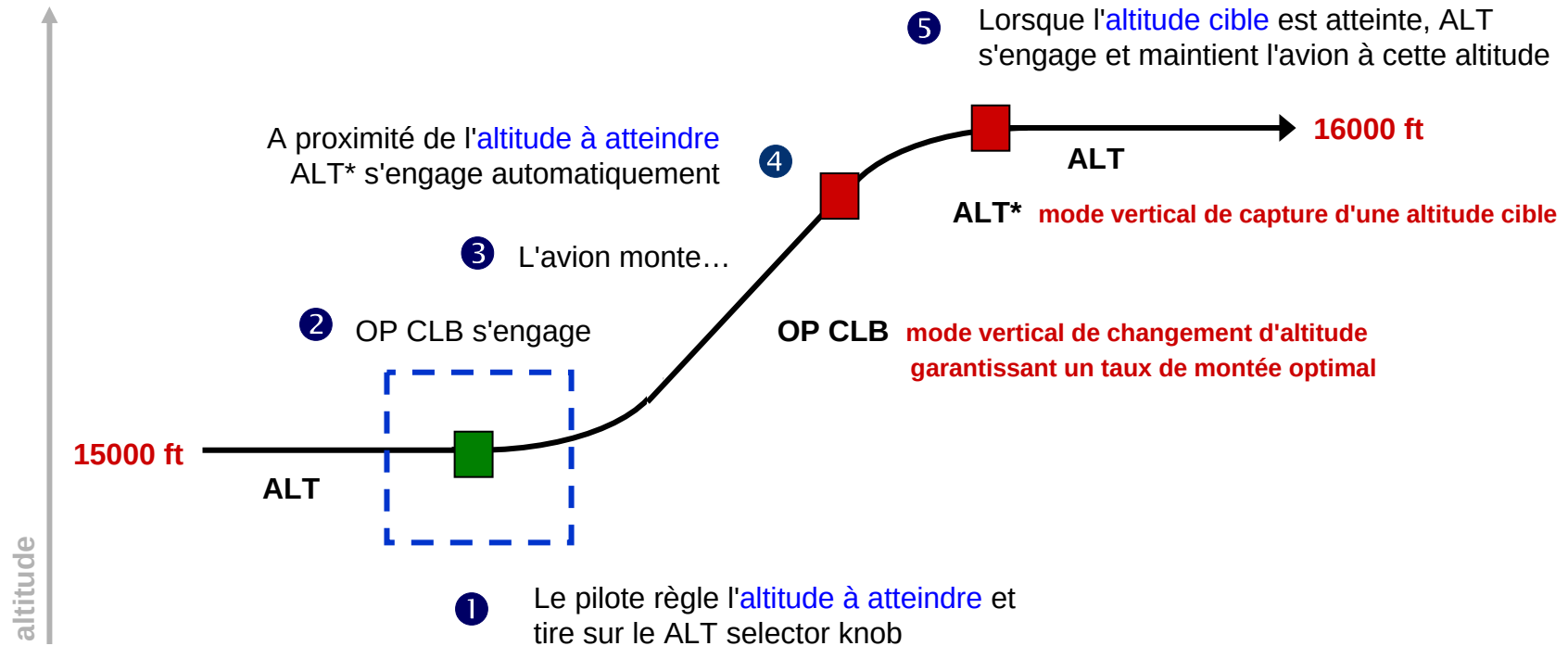
- ▶ **verticaux**: contrôlent la trajectoire verticale de l'avion
  - e.g., ALT (maintien d'altitude), OP CLB (montée)
- ▶ **latéraux**: contrôlent la trajectoire latérale de l'avion
  - e.g., HDG (maintien un cap), NAV (suit un plan de vol complexe)
- ▶ **de poussée**: contrôlent la poussée des moteurs et la vitesse de l'avion
  - e.g., THRUST (maintien une poussée), SPEED (maintien une vitesse)
- ▶ **communs**: combinent un contrôle vertical et latéral
  - e.g., LAND (maintien sur l'ILS en dessous de 400 ft en approche finale)

- **Nombreux modes disponibles pour assister le pilote**

- ▶ B737: ~ 20
- ▶ A340: 42
- ▶ A380: 44



demo

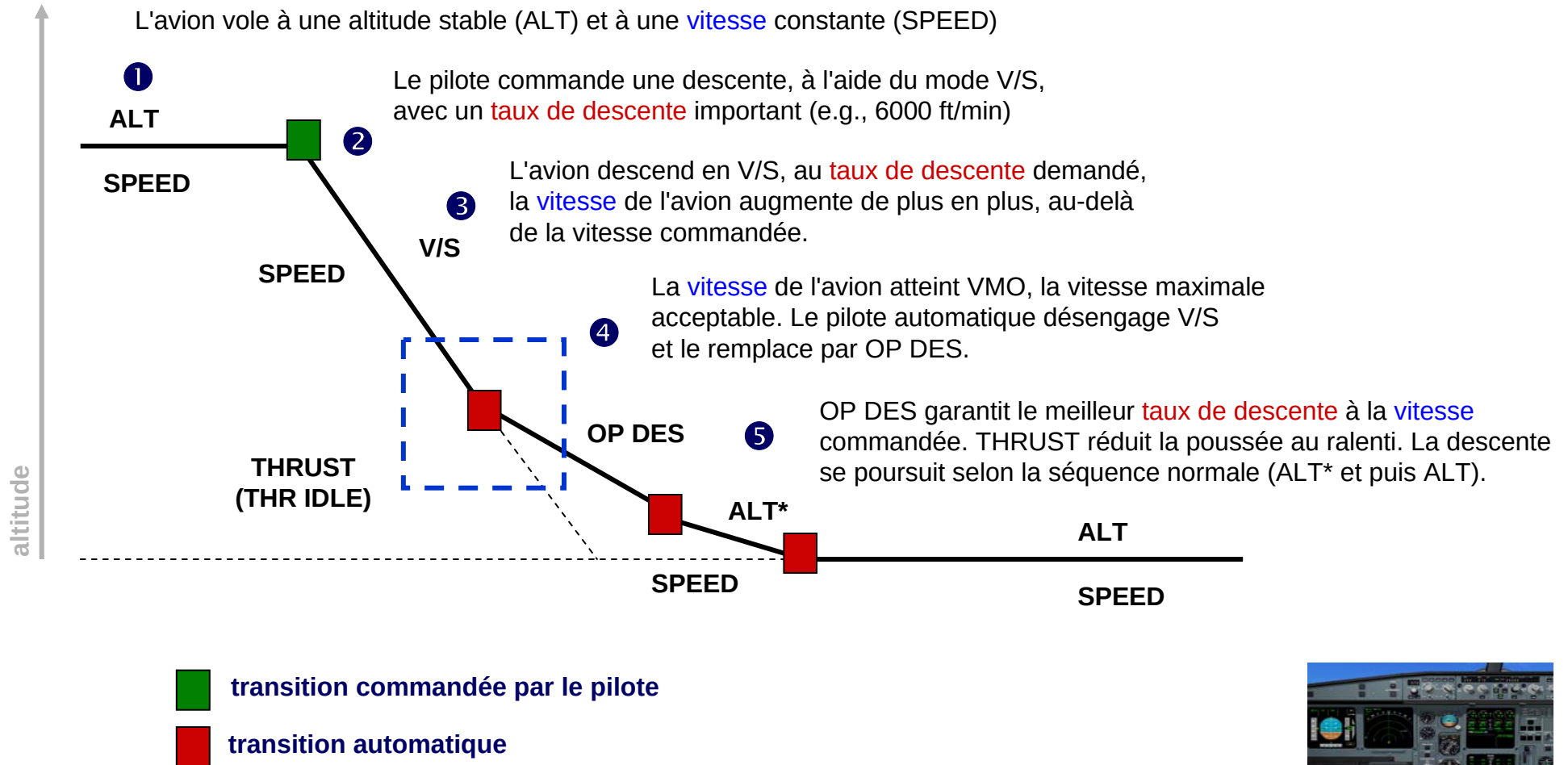


- transition commandée par le pilote
- transition automatique



demo





demo

mode généraux (phase independant)

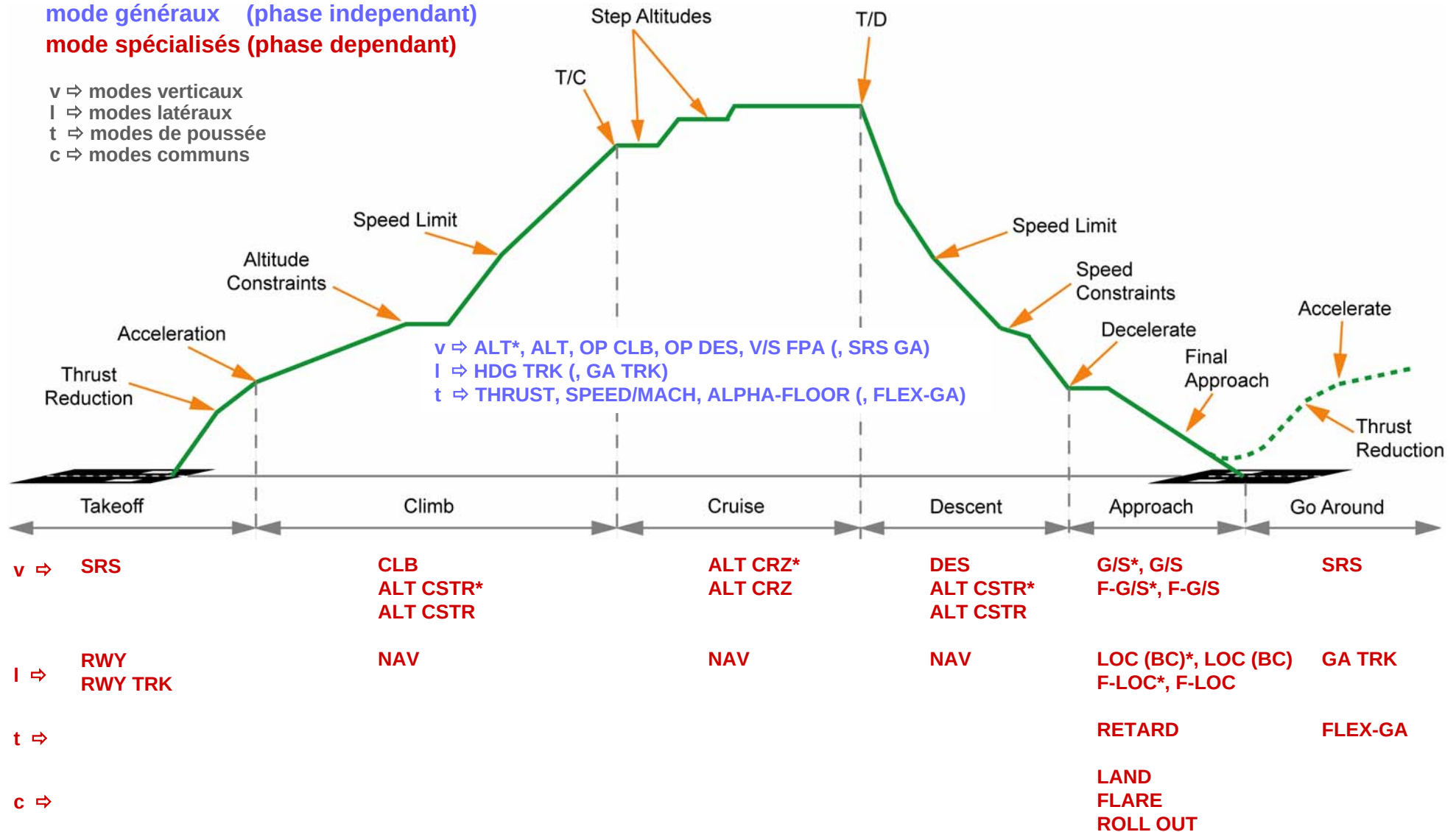
mode spécialisés (phase dependant)

v ⇒ modes verticaux

l ⇒ modes latéraux

t ⇒ modes de poussée

c ⇒ modes communs



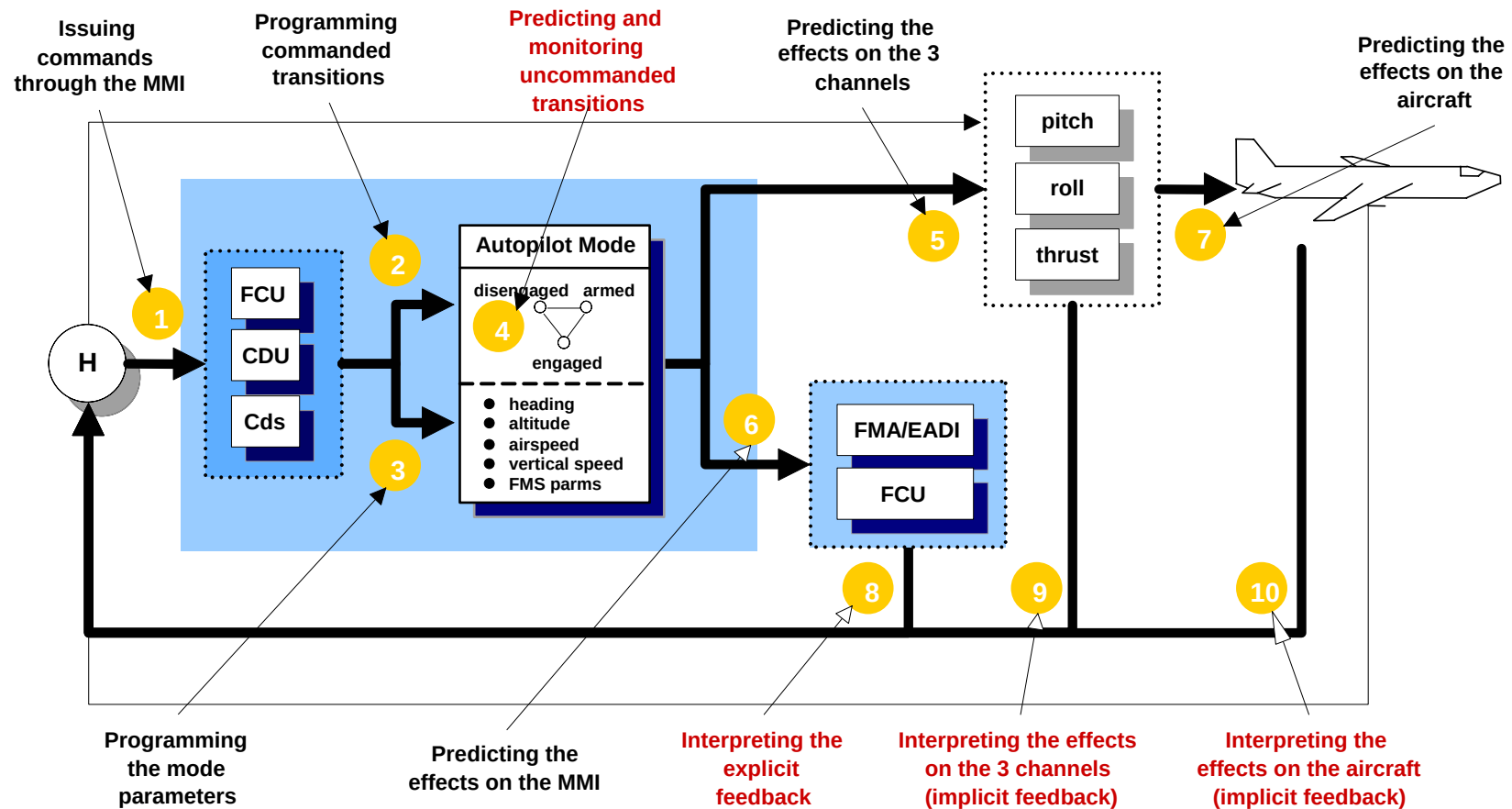
# Le pilote automatique en opération



- **Augmentation massive de la stabilité et contrôlabilité des appareils**
  - ▶ motivation première des premiers pilotes automatiques: **stabilisateurs**
  - ▶ permettent même de rendre contrôlables des appareils naturellement instables
  - ▶ maintenant une fonction de base des lois de commandes de vol (A320+)
- **Réduction massive de la charge de travail**
  - ▶ sortent le pilote des boucles de contrôle 'internes', rapides et lourdes pour l'humain
  - ▶ délégation de tâches **tactiques** simples: changement d'altitude, commande d'une vitesse, commande d'un cap
  - ▶ délégation de tâches **stratégiques** complexes: suivi d'un plan de vol pendant plusieurs heures, approches et atterrissages automatiques
- **Extension du domaine de vol**
  - ▶ capacité à voler dans des **circonstances** auparavant **inaccessibles**, par exemple atterrissage automatique sans aucune visibilité (approche ILS Cat IIIc)
- **Amélioration de la performance**
  - ▶ calcul automatique des taux de montée ou de descente **optimaux**
  - ▶ réduction de la **consommation** grâce au Flight Management System : génération automatique de plans de vol **optimaux**

- **Incident Moscou, 1990 (idem, Nagoya, 1994; Orly, 1994)**
  - ▶ une **remise des gaz** est activée, avec le **pilote automatique engagé**: le pilote automatique doit donc produire une montée rapide de l'avion, à pleine poussée
  - ▶ le pilote intervient et veut maintenir l'avion sur le plan de descente initial
  - ▶ le pilote automatique **'combat'** le pilote et modifie la configuration neutre du stabilisateur (nose up trim) pour obtenir l'effet escompté (montée)
  - ▶ le pilote automatique déconnecte quand le mode d'acquisition d'altitude s'engage alors que l'avion se retrouve dans une configuration de trim anormale (out of trim). L'avion effectue une série d'oscillations en tangage extrêmes, avant que l'équipage ne reprenne le contrôle. Cf. le diagramme du début.
- **Accident Mont Ste-Odile, 1992 (enquête en cours)**
  - ▶ une hypothèse plausible est que les pilotes n'étaient pas **conscients** du **mode** courant de **descente** de l'avion, malgré le fait qu'il soit annoncé sur les interfaces
  - ▶ le **taux de descente** est **5 fois supérieur** à ce que les pilotes pensaient probablement
  - ▶ l'avion s'écrase sur le Mont St-Odile, près de Strasbourg
- **Accident Charm-el-sheik, 2003 (enquête en cours)**
  - ▶ l'avion, peu après le décollage, pour une raison non déterminée, prend une **attitude de vol anormale**
  - ▶ le pilote automatique dégage ("il ne sait plus faire") ou est dégage
  - ▶ le commandant de bord semble s'obstiner à vouloir **ré-engager** le pilote automatique, malgré l'**absence des conditions requises** (attitude anormale). Soit:
    - il n'est pas conscient de l'anormalité des conditions, malgré les remarques nombreuses du copilote
    - il ne sait pas/plus que le pilote automatique ne peut fonctionner sous de telles attitudes
  - ▶ l'attitude de l'avion se dégrade de plus en plus, il pique et s'écrase en mer à près de 700 km/h





Les tâches cognitives incorrectement réalisées dans le cas de l'accident du Mont Ste-Odile, selon l'**hypothèse** de la non identification du **mode vertical courant** et du **taux de descente** associé de l'avion.

