



IMPACTS FACTEURS HUMAINS DE L'AUTOMATISATION EN AÉRONAUTIQUE

Philippe Cabon, MCU – HDR –
Institut de Psychologie LATI, Université Paris Descartes

Sommaire

- Le système aéronautique
- Evolution de la sécurité aéronautique
- Historique de l'automatisation en aéronautique
- Les impacts Facteurs Humains de l'automatisation
- Perspectives

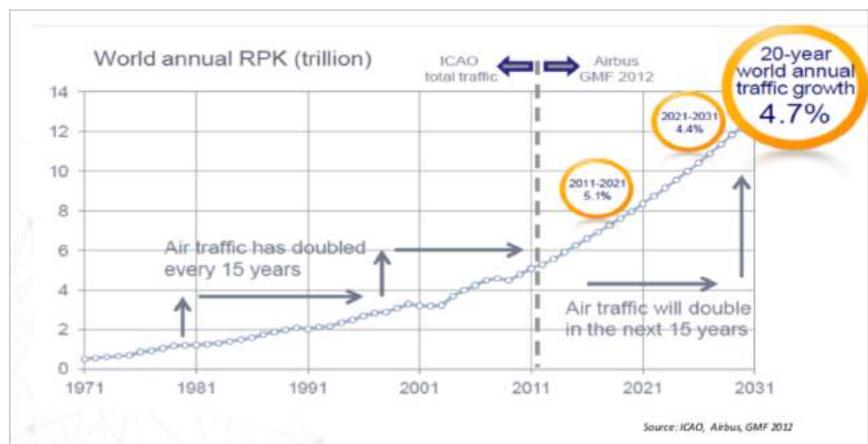


Un système socio-technique complexe

 OACI
  EASA
  



Un doublement du trafic aérien dans les 15 ans



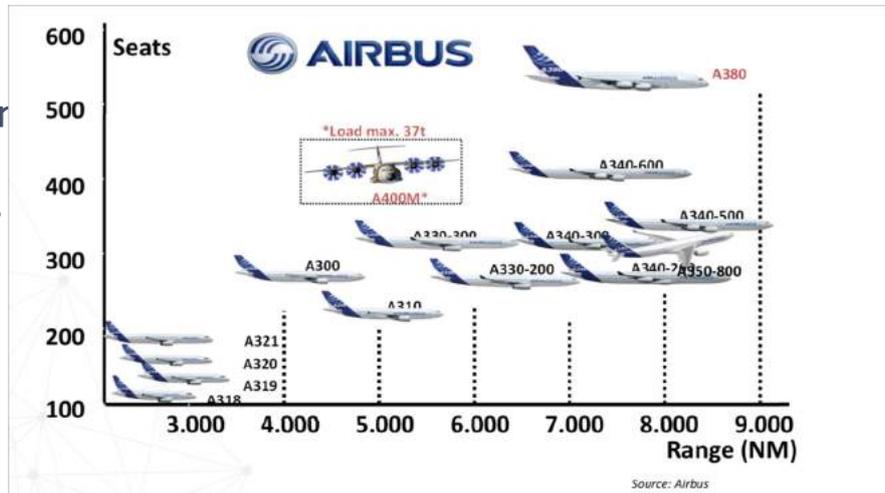
Une très forte demande en recrutement et formation de pilotes



Des zones de trafic aérien de plus en plus denses et complexes

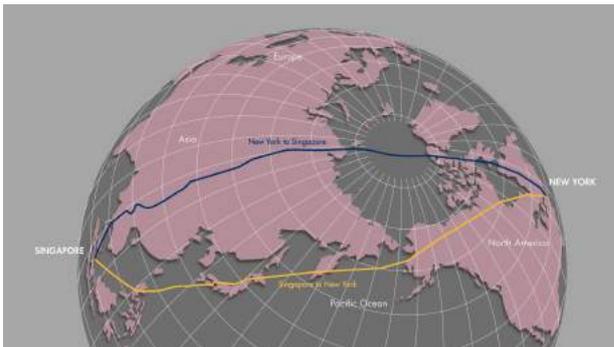


Des vols de plus en plus longs et des capacités de plus en plus grandes



Source: Airbus
UNIVERSITÉ PARIS DESCARTES

Vol Ultra-Long Courrier Singapore – New York



20 h de vol sans escale

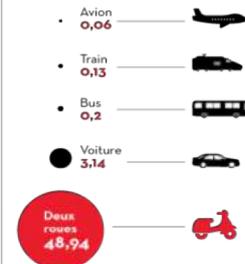


Un très haut niveau de sécurité

MORTS DANS LES ACCIDENTS D'AVION dans le monde

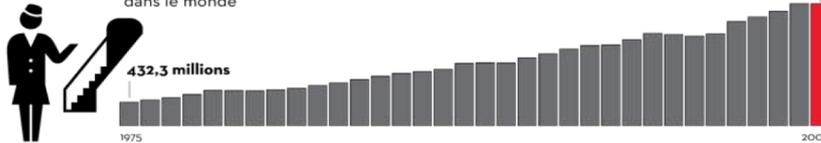


MORTS ACCIDENTELLES indice de risque par milliard de km, par voyageur et par type de transport, en Europe en 2014

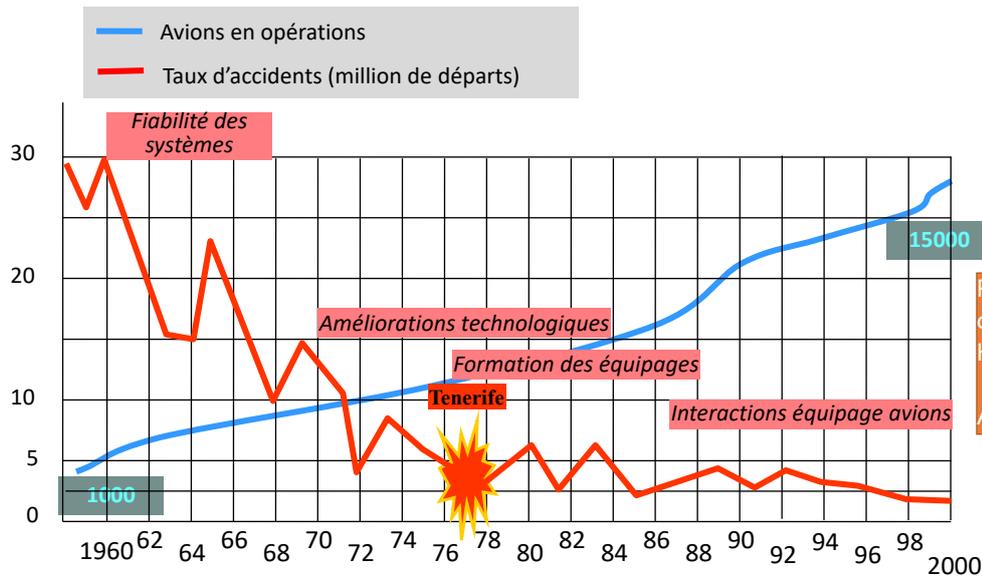


- 2016 : aucun accident dans une compagnie aérienne occidentale
- 2017 : aucun mort dans un accident d'avion dans le monde

PASSAGERS TRANSPORTÉS EN AVION dans le monde

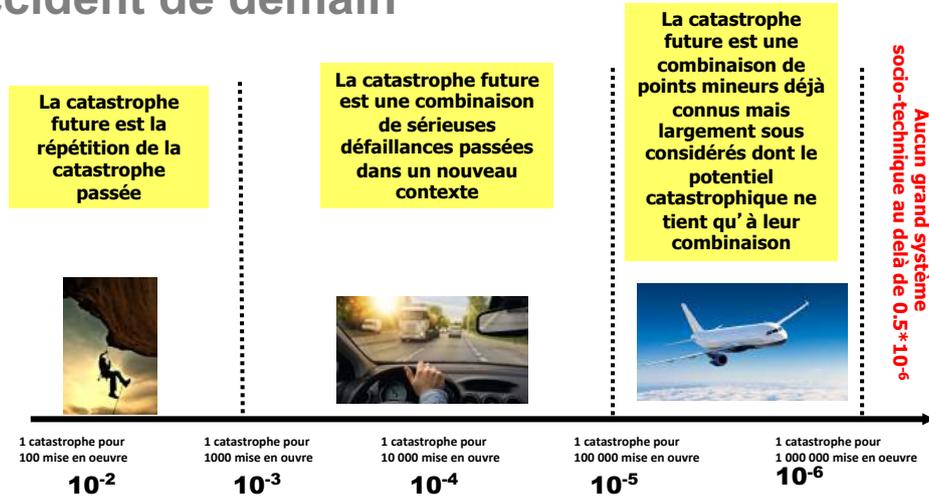


Sources : Bureau of Aircraft Accidents Archives, Banque mondiale, European Railway Agency



Réglementation pour la certification Facteurs Humains CS 25-1302
A380 & A400M

Le paradoxe : l'accident d'hier ne prédit plus l'accident de demain



Adapté de
Amalberti, 2002



- 1920 : radio, aides simples à la navigation
- 1930 : premiers pilotes automatiques opérationnels
- 1940 : aides à la navigation de précision
- 1950 : radar météo embarqué
- 1970 : gestionnaire de navigation, détecteur de proximité de sol (GPWS), atterrissage automatique
- 1980 : commandes de vol électriques, gestion automatique des moteurs, instruments regroupés sur tubes cathodiques, communications satellitaires
- 1990 : détecteur d'avions et TCAS
- 2000 : navigation par GPS (plus précise), nouveaux systèmes de suivi de navigation automatique avec les contrôleurs
- 2010 : espaces de séparation réduit entre avions
- 2020 : nouveau système d'aide à l'atterrissage
- 2030 : premiers avions cargo sans pilote.



Comet 4



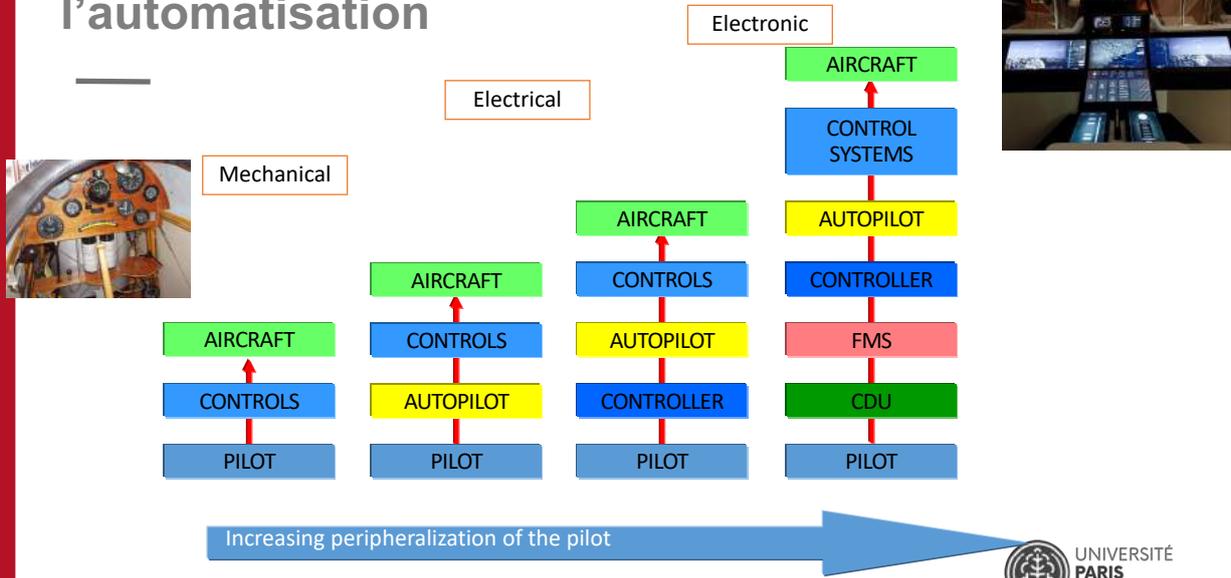
Airbus A320 « glass cockpit »



Airbus A350



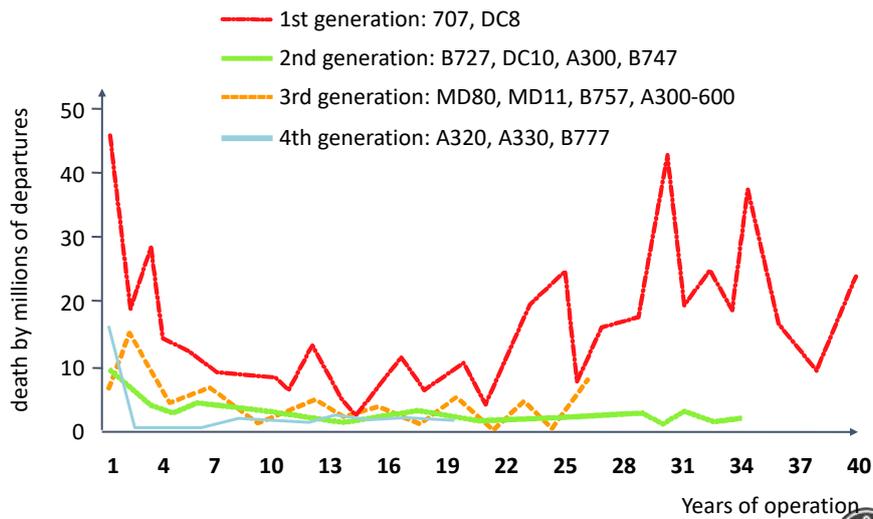
Evolution de l'automatisation



Adapté de Claude Valot



Evolution de la sécurité aérienne par générations d'avion



Evolution des cockpits

Caravelle (1960-1970)



A320 (1987)



- Glass cockpit
- Fly-by-wire
- Equipage à 2



Evolution du contrôle du trafic aérien

L'automatisation

- 4 fonctions «automatisables » (Parasuraman & Sheridan):
 - Acquisition de l'information (ex : détection du trafic, météo)
 - Analyse de l'information (ex : prédiction du carburant à destination)
 - Sélection de la décision et de l'action (ex : procédures de traitement de pannes, Flight Director)
 - Exécution de l'action (ex : remise de gaz après détection « windshear »)

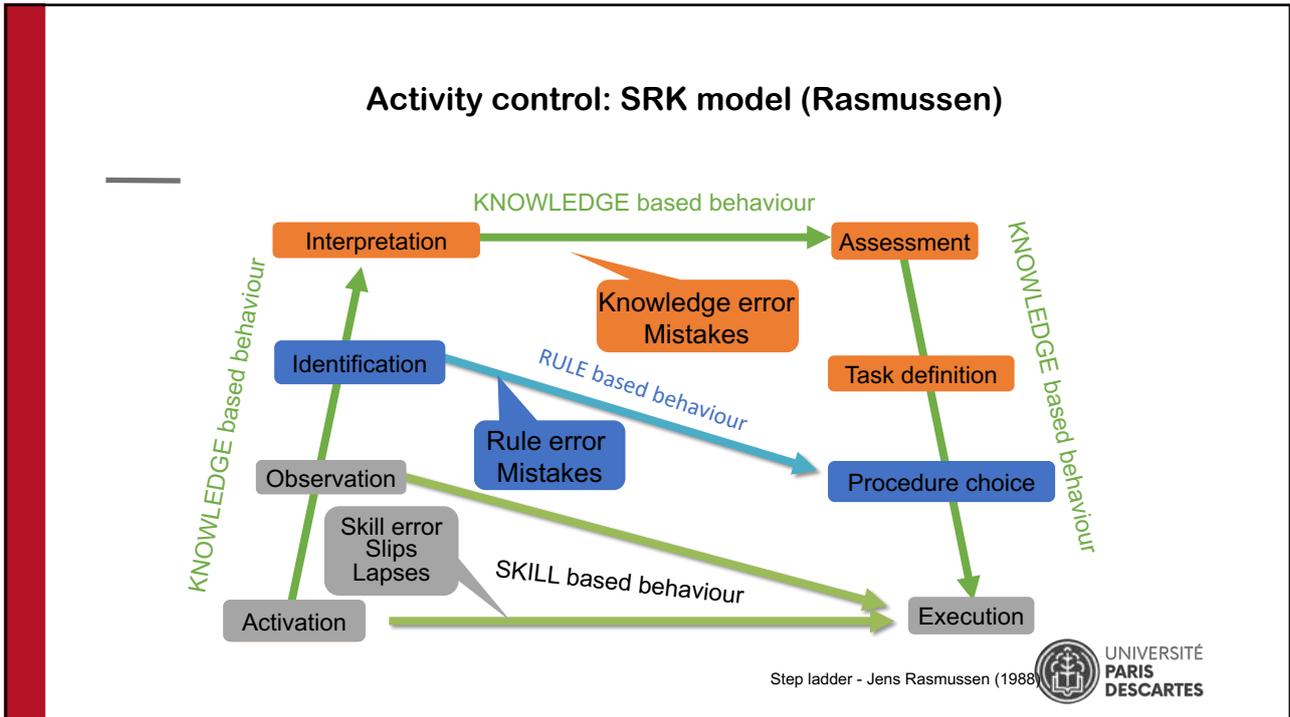


Une révolution des compétences

- Les nouvelles technologies dans les cockpits modernes offrent un support stratégique plutôt qu'un support tactique
- Dans les générations précédentes les pilotes étaient habitués à recevoir un feedback immédiat après chaque "input"
- Dans les avions actuels, pas de retour immédiat, les effets ne se voient que sur une échelle de temps plus étendue
- Moins de feedback immédiats (ex : minimanches)

=> Focalisation de plus en plus forte sur la coordination, le "cross checking", le suivi des procédures plutôt que sur les tâches de pilotage





La vision de l'erreur humaine

Performance négative		Performance positive: erreur bénéfique
<p>Erreur d'exécution (erreur de doigt, de bouton)</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ philosophie : Chasse ✓ moyens : barrière, cache.... 	<p>Erreur d'exécution (erreur de doigt, de bouton)</p> <p>L'Erreur de représentation/panne</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ philosophie : Minimiser ✓ moyens : aide au diagnostic de panne, C/L 	<p>Erreur d'exécution (erreur de doigt, de bouton)</p> <p>Erreur de représentation,</p> <p>Les erreurs associées aux modèles mentaux</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ philosophie : aider à gérer , détection/récupération ✓ moyens : système de situation awareness, guidage

Florence Reuzeau, Alrbus
1970, 80 1980, 90 1990, 200X

Bénéfices de l'automatisation vus par le concepteur

- Gain de sécurité
- Réduction des coûts
 - Consommation de carburants
 - Maintenance
 - Formation des équipages
 - Réduction de l'équipage

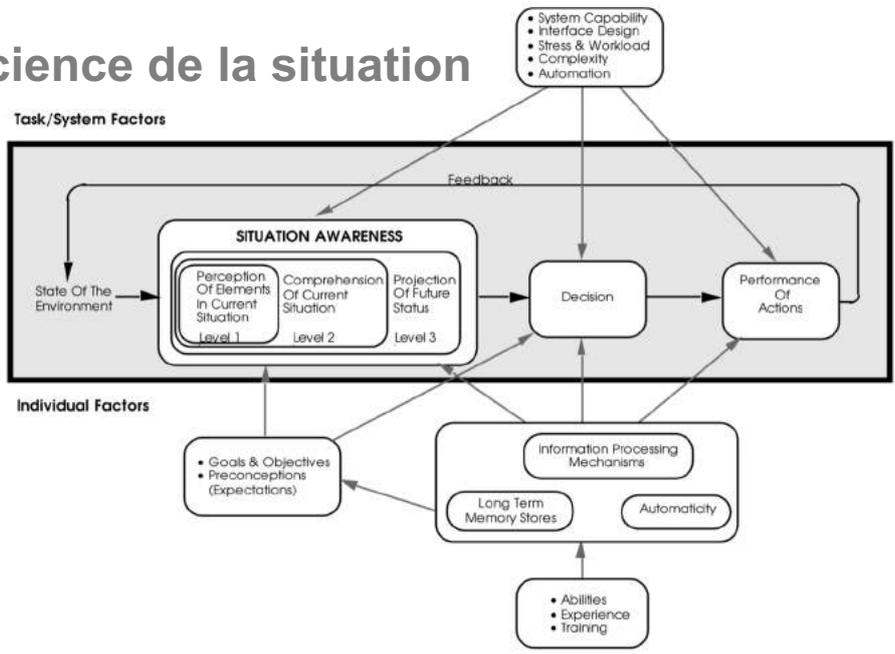


Quelques impacts Facteurs Humains de l'automatisation en aéronautique

- Distraction : la sélection des modes prend plus d'importance que des informations « primaires » (incidence, puissance, roulis et tangage)
- Situations imprévues exigeant de reprendre la main peuvent créer un effet de surprise et un pic de charge de travail
- Les systèmes de diagnostic couvrent mal les situations imprévues, les pannes multiples et des situations nécessitant une violation des procédures
- Les alarmes peuvent mobiliser trop de ressources du pilote
- Augmentation de la monotonie et réduction de la vigilance de l'équipage
- Perte de compétences



Conscience de la situation



SITÉ



Automatisation et accidents

Types d'accidents	Exemples
L'automatisation prend le contrôle	Toulouse, Février 1995
L'opérateur et l'automatisation luttent pour le contrôle	Habsheim, 1988 Nagoya, 1994,
Défaillance dans la délégation de l'automatisation à l'opérateur	China Air, 1985 Roselawn ATR-72, 1994
L'automatisation induit l'opérateur humain en erreur	Bangalore, 1990, Rio-Paris, 2009
Défaut de coordination entre l'opérateur et l'automatisation	Mont Saint Odile, 1992 Cali, 1995, Uberlingen 2001

SITÉ



Air China, Nagoya, 1994

- Juste avant l'atterrissage, le co-pilote sélectionne par erreur une remise de gaz au moment de l'atterrissage => l'avion monte et augmente la puissance
- L'équipage réduit la puissance et pousse le manche en avant mais ne débraye pas le pilote automatique
- Décide de remettre les gaz, tirent le manche ce qui accentue la manœuvre de montée et fait décrocher l'avion

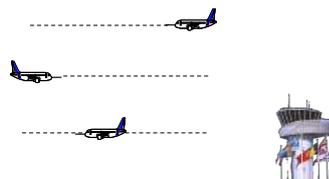


25

Le TCAS

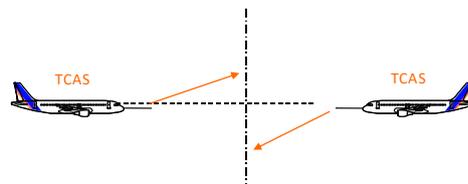
◦ Contrôle aérien :

- espacements entre les avions



◦ TCAS (Traffic Collision Avoidance System) :

- Système embarqué
- Autonome et indépendant
- Prévention des collisions en vol



◦ Risque d'abordage :

- TCAS = relais
- Manœuvres dans le plan vertical

26

Présentation du TCAS côté pilotes

- Traffic Alert and collision Avoidance System

- Principes généraux
 - Système embarqué, obligatoire
 - Indépendant des systèmes de contrôle et de l'avionique
 - Dernière barrière contre les abordages
 - Prend le relais du contrôle
- Présentation dans les cockpits Airbus actuels

Traffic information
Trafic environnant

Traffic Advisory (TA)
Trafic approchant

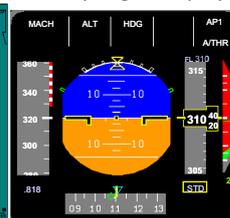
Resolution Advisory (RA)
Manoeuvre verticale

12 aural warnings

Navigation Display

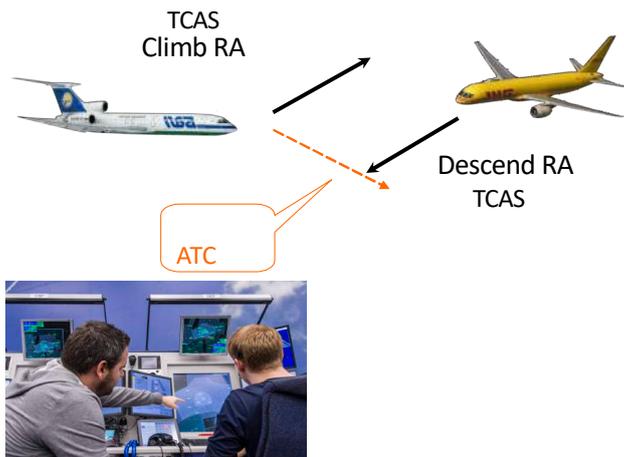


Primary Flight Display



UNIVERSITÉ
PARIS
DESCARTES

Accident d'Uberlingen : le paradoxe du TCAS



UNIVERSITÉ
PARIS
DESCARTES

2. Approche Facteurs Humains et Méthode

• Simulation « Part task »

• Objectif

- Stress et pression temporelle
- Pilotes ET Contrôleurs (naïfs)

• Environnement

• Scénarios

- Durée environ 10 min
- 3 basés sur des incidents réels



Rome et coll., 2009



Résultats : contrôle et conscience de la situation

		Oui	Non
Avez-vous ressenti que la situation vous échappait ?	Pilot Flying	0	31
	Pilot Non Flying	2	29
Avez-vous éprouvé des difficultés à évaluer la situation ?	Pilot Flying	11	20
	Pilot Non Flying	7	24

- Contrôle Vs Compréhension – Focalisation sur l'exécution de la manoeuvre
 - Je me suis concentré sur l'IVSI, je n'ai pas regardé le ND
 - En cas de RA, on ne regarde qu'une seule chose : le vario
 - Je ne sais pas ce qui s'est passé
 - Vous ne pouvez pas réagir en fonction de ce que vous comprenez

Rome et coll., 2009

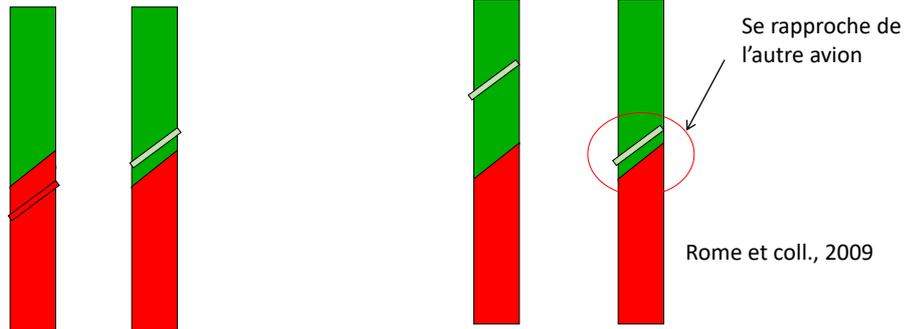


Exemples de résultats

Pour éviter des manœuvres trop brutales, les équipages règlent leur vitesse verticale à la limite du rouge et du vert

Climb, climb

Monitor vertical Speed



« Automatisation » de la manœuvre liée au stress



Perte de l'expertise

- Sur des avions peu automatisés, le pilote avait une connaissance détaillée du fonctionnement de l'avion lui permettant d'agir de manière créative quelle que soient les circonstances
 - Les avions actuels requièrent une approche plus procédurale et séquentielle de la gestion du vol
 - Seules les actions réalisées en accord avec la logique de l'ordinateur et dans une séquence donnée sont acceptées par le système
- => le pilote devient opérateur de systèmes



Accident de l'AF 447 Rio-Paris



33

- Parmi les principales causes de l'accident identifiées par le BEA :

- Givrage des sondes Pitots
- Absence d'indication claire dans le poste de pilotage de l'incohérence des vitesses
- Absence d'entraînement à haute altitude au pilotage manuel

Les limites de la coopération homme-machine (Sarter et Wood, 2000)

- Un pilote programme dans son système de navigation une approche sur la piste 24L. Il entre les altitudes associées à chaque point.
- Pendant la descente l'ATC lui signale un changement de piste 24R. Le pilote change la piste dans son système de navigation en « pensant » que le système a mémorisé l'ensemble des altitudes alors qu'en fait le changement de piste efface l'ensemble des altitudes
- 4 sur 18 pilotes expérimentés n'ont pas détecté le comportement de l'automatisation et 12 sur 14 n'ont pas récupéré la situation à temps

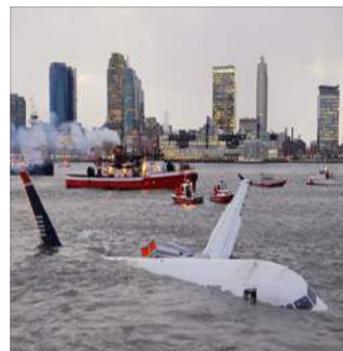
34

Perspective : un équilibrage entre Sécurité Réglée et Sécurité Gérée (Amalberti)

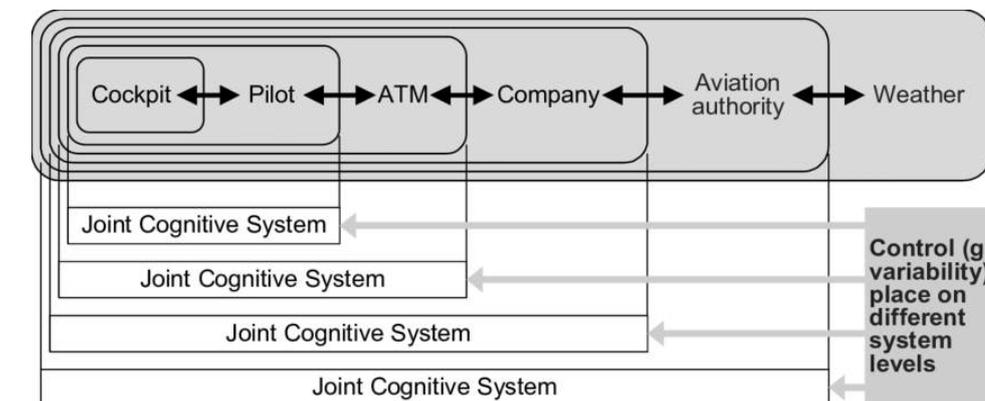
- Artisans $S_t = S_r + S_g$
- Systèmes ultra sûrs $S_t = S_r + S_g$
- Systèmes résilients : $S_t = S_r + S_g$

Accidents de l'Hudson : question de probabilité...

- 2 décisions possibles :
 - Faire demi-tour vers La Guardia : probablement issue positive, mais catastrophique en cas d'échec, procédures apprises en cas de panne moteur
 - Se poser sur l'Hudson : conséquences certainement négatives mais probablement non catastrophique (un seul exemple connu d'amerrissage sans morts, St Peterbourg, 1963)
- Préfère réduire la probabilité d'une catastrophe en « sacrifiant » le plan d'action le plus ambitieux
- Qu'aurait fait un automatisme ?



Joint Cognitive system



37

Cognitive system engineering (CSE): concevoir pour la complexité (Hollnagel, 2005)

- Les approches traditionnelles de la conception cherchent la simplification
- Les principes de l'approche CSE est de supporter les stratégies naturelles plutôt que d'imposer des stratégies spécifiques
- Le point de départ est la compréhension des stratégies représentatives plutôt que des hypothèses sur ce que l'opérateur pense
- L'approche doit être adaptée au domaine d'application

38

Perspectives : vers une conception résiliente....

- Réflexion sur les compétences du pilote et du contrôleur du futur
- Monitoring de l'état de l'équipage
- Automatisation adaptative

