

Fatigue, stress, sécurité et simulation


Exemples aéronautiques

Philippe Cabon, MCU
Laboratoire Adaptations Travail Individu




Plan

- Introduction
- Gestion du risque fatigue
- Stress et sécurité aérienne
 - TCAS
 - Accidents de l'Hudson
- Perspectives



Les grandes fonctions de la simulation


- Entraîner/former
- Expliquer le passé
- Prédire l'avenir



Les grandes fonctions de la simulation


- **Entraîner/former:**
 - Formation initiale
 - Entraînement récurrent basé sur les manœuvres et les procédures
 - Entraînement de type Line Oriented Flight Training (pilotes):
 - Objectif : simuler la totalité d'une mission dans un contexte opérationnel, intégrer les compétences techniques et non techniques, encourager les principes CRM

Simulateur de Tour de contrôle sur 360° à l'ENAC




Les grandes fonctions de la simulation

- **Expliquer le passé :**
reproduire des phénomènes pour :
 - Comprendre des phénomènes naturels
 - Analyser des incidents et d'accidents



Les grandes fonctions de la simulation

- **Prédire l'avenir :**
 - Conception
 - Planification



Means of evaluations along the design cycle; A380

PCs, networks (O3P)

A/C-1 (engineering simulator)

development simulator

flight test A/C

Florence Reuzeau, Airbus

Gestion du risque fatigue en aéronautique

- Eude des effets de la fatigue en simulateur
- Utilisation de modèles prédictifs pour la gestion du risque fatigue

NTSB MOST WANTED

AVIATION: The Federal Aviation Administration should act to:

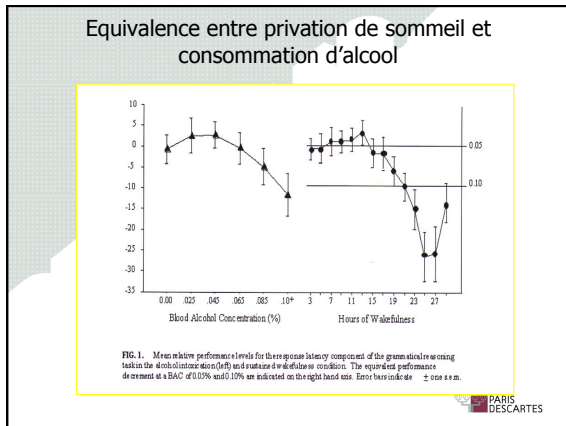
- Reduce Dangers to Aircraft Flying in Icing Conditions
 - Use current research on freezing rain and large water droplets to revise the way aircraft are designed and approved for flight in icing conditions.
 - Conduct additional research with NASA to identify realistic ice accumulation and incorporate new information into aircraft certification and pilot training requirements.
- Eliminate Flammable Fuel/Air Vapors in Fuel Tanks on Transport Category Aircraft
 - Implement design changes to eliminate the vulnerabilities of flammable fuel/air vapors in all transport category aircraft.
- Stop Runway Incursions/Overruns of Aircraft
 - Give immediate warnings to pilots of collisions/incursions directly to flight crews in the cockpit.
- Improve Cockpit Voice Recorders/Require Video Recorders
 - Require voice recorders to retain at least 2 hours of audio.
 - Require backup power sources so cockpit voice recorders collect an extra 10 minutes of data when an aircraft's main power fails.
 - Install video recorders in cockpits to give investigators more information to solve accidents.

NTSB classification: unacceptable response

Reduce Accidents and Incidents Caused by Human Fatigue

- Set working hour limits for flight crews and aviation mechanics based on fatigue research, circadian rhythms, and sleep and rest requirements

P.Cabon




- ### Effets de la fatigue sur les performances opérationnelles
- Etude de la NASA (Foushee, 1986)
 - Comparaison des performances sur simulateur de 2 groupes d'équipages :
 - équipage reposé n'ayant pas récemment volé ensemble (N=20)
 - équipage fatigué en fin de rotation commune de 3 jours (N=20)
 - Séance de simulateur en début de soirée / même scénario critique
 - Evaluation de performance : un pilote expert et deux observateurs chargés de l'analyse des enregistrements vidéo

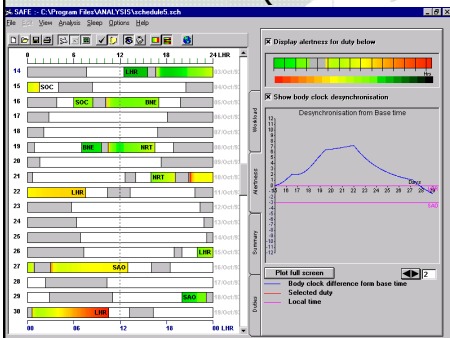
- ### Effets de la fatigue sur les performances opérationnelles
- Types d'erreurs classées, de faible impact à impact élevé sur la sécurité :
 - Type I : non prise en compte d'une clearance rapidement récupérée, checklist non réalisée entièrement, déviation d'altitude >200 ft
 - Type II : pas de notification à l'ATC d'un problème, oubli d'utiliser l'anti-givrage, oubli d'une check-list
 - Type III : ne remarque pas une panne hydraulique, volets et reverse avant l'atterrissage, déviation d'altitude > 400 ft

Effets de la fatigue sur les performances opérationnelles


- Résultats :
 - Les équipages fatigués ont eu de meilleures performances que les équipages reposés : significativement moins d'erreurs de type II et III
 - Explications : stratégies de protections contre les effets de la fatigue et effets de la connaissance mutuelle des équipages




SAFE MODEL (MICK SPENCER)




Used by :
Singapore Airlines
Air New Zealand



Les vols ULR de Singapore Airlines

European Committee for Aircrew Sceduling and Safety (DLR, LAA, QinetiQ, TNO, KI) 



Phase I
Simulation rotations et repos à bord avec modèle prédictif de fatigue (SAFE)
2002


Phase II
Validation des prédictions du modèle sur des vols long-courriers
2003

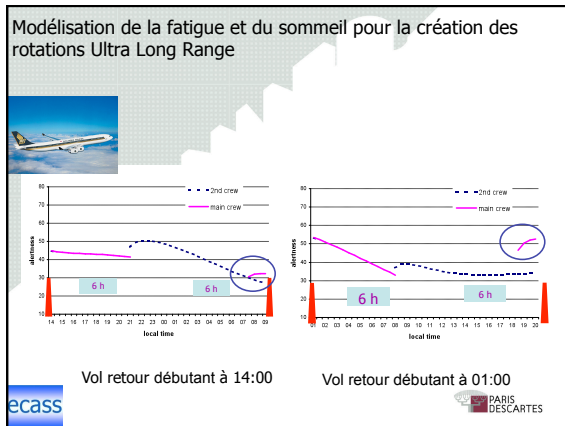
Phase III
Validation des prédictions du modèle sur des vols ultra long-courriers
2004

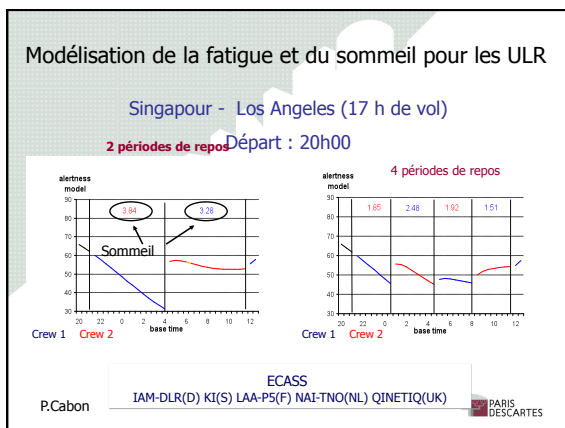
Enregistrements polysomnographiques en vol (Université de Massey, NZ)

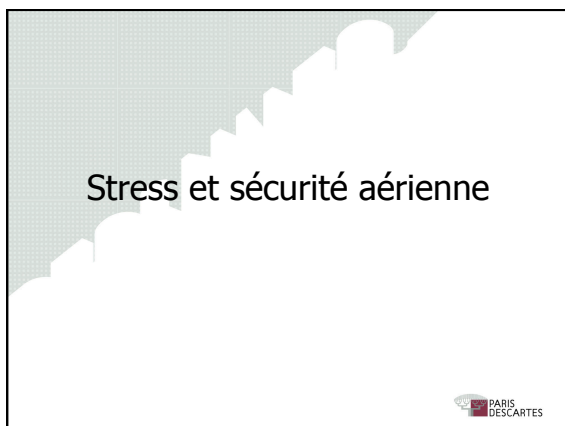
Autorisation par la CAA de Singapour

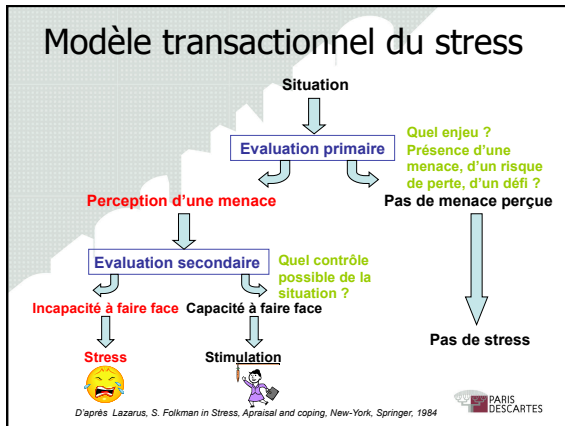
Formation des PNT/PNC sur la gestion du sommeil et de la vigilance











Stress = rupture d'équilibre entre les exigences de la tâche et les processus cognitifs

Nature de la tâche →

	Intuitif	Quasi-rationnel	Rationnel
Intuitif	Optimal		
Quasi rationnel		Optimal	
Rationnel			Optimal

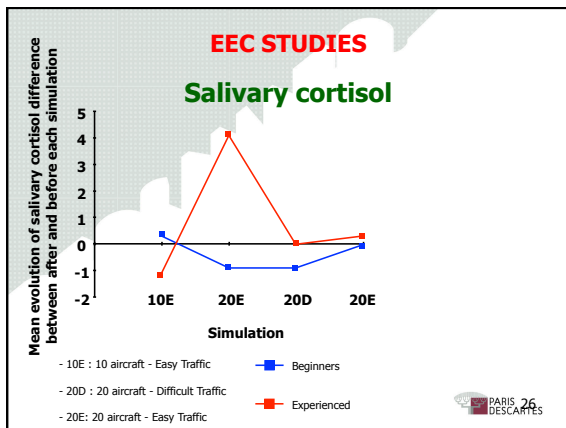
PARIS DESCARTES

- ### Stress et cognition
- **Pensée réductive**
 - Hypothèses peu nombreuses, émises très vite, capacité très réduite à en émettre de nouvelles
 - **Biais de confirmation**
 - Recherche répétée des mêmes informations qui confirment les hypothèses choisies et renforcent le schéma mental
 - **Fixité, blocage**
 - Impossibilité de revenir en arrière, impossibilité d'envisager d'autres solutions
 - **Excès de précipitation**
 - Volonté de s'en sortir rapidement mais négligence des paramètres et des conditions périphériques, approximations et erreurs
 - **Augmentation des réponses actives**
 - Gestes, manipulations, "Agir à tout prix"
 - **Effet de régression**
 - Oubli des apprentissages les plus récents et retour à un apprentissage antérieur, même dépassé et inadapté.
- PARIS DESCARTES

De la simulation « part task » à la simulation temps réelle

Réalisme situationnel ou réalisme technique ?

PARIS DESCARTES

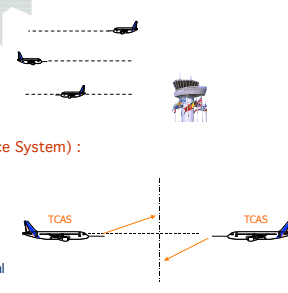


Exemple du TCAS

PARIS DESCARTES

Présentation du TCAS

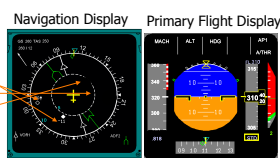
- **Contrôle aérien :**
 - espacements entre les avions
- **TCAS (Traffic Collision Avoidance System) :**
 - Système embarqué
 - Autonome et indépendant
 - Prévention des abordages
- **Risque d'abordage :**
 - TCAS = relais
 - Manœuvres dans le plan vertical



PARIS DESCARTES 28

Contexte et Objectifs

- **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



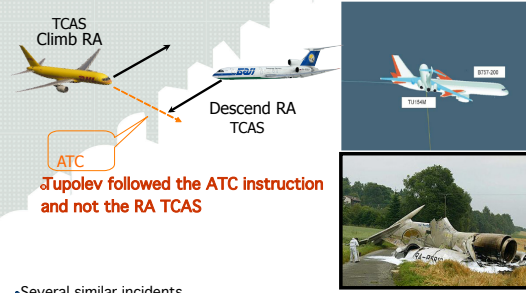
Traffic information
Trafic environnant

Traffic Advisory (TA)
Trafic approchant

Resolution Advisory (RA)
Manoeuvre verticale

12 aural warnings

Accident d'Uberlingen : le paradoxe du TCAS



TCAS Climb RA

Descend RA TCAS

ATC

↑upolev followed the ATC instruction and not the RA TCAS


Several similar incidents

- TCAS requires under temporal pressure and stress :
 - an appropriate aircrew decision making and communication
 - no reaction from the ATC


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
 - 1000ft stabilisation + descente d'urgence
 - VFR
 - Multi-conflits
 - 1 « créé »
 - un avion militaire





ATCO position



Pseudo-pilots position




A 320 part task simulator

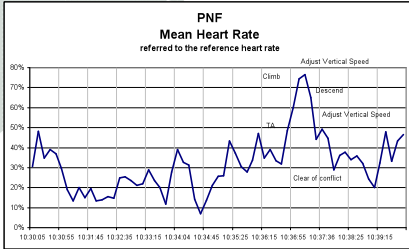
2. Approche Facteurs Humains et Méthode

- Analyse des données
 - Cognitive Reliability and Error Analysis Method (Hollnagel, 1998)
- Echantillon
 - Participants
 - 18 contrôleurs
 - 18 A320/330/340 pilotes de compagnie
 - Simulations
 - 9 jours
 - 31 simulations




Résultats

- Fréquence cardiaque



PNF Mean Heart Rate
referred to the reference heart rate

- *Accroissement pour la plupart des participants*
- *Validation de l'environnement de simulation au regard des hypothèses*




Résultats

- Contrôle 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

Stress ► Focalisation




Exemples de résultats


- Ecart entre la quantité d'informations à traiter et le temps accordé pour réagir
 - Stratégies personnelles
 - Exécution « mécanique » de la manoeuvre



Monitor Vertical Speed




Stress ► Simplification



Autres résultats

- Des clairances ATC pendant les RA (4 sur 17 cas)
- Des annonces ambiguës (pb phraséologie)
- L'utilisation déviée du ND et les risques associés
- Une conscience dégradée de la situation de l'équipage



Analyse de l'accident

- On est dans le domaine connu
 - Menace parfaitement anticipée
 - Réponse préparée et répétée
- On est hors du « domaine normal de vol » (ingestion multiple de gros oiseaux, sur les deux moteurs, amerrissage),
 - La réponse prévue ne couvre que les grands principes




J. Pariès, 2011 In : Resilience engineering in Practice




Question de probabilité...

- 2 décisions possibles :
 - Faire demi-tour vers La Guardia : probablement issue positive, mais catastrophique en cas d'échec
 - Se poser sur l'Hudson : conséquences certainement négatives mais probablement non catastrophique (1 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




Equipage et Contrôleur

- Commandant de Bord
>19.000 h de vol
- Copilote : > 15.000 h de vol
- Contrôleur : 10 ans d'expérience, 10 à 12 situations d'urgence (*'but never one like that'*).



Chesley Sullen- Berger,



Gestion du stress pendant l'événement

- CDB : *"I was not this calm then, but I was very focused."* »
- ATC :
 - *"During the emergency I was hyper focused, I had no choice but to think and act quickly."*
 - *"I was flexible and responsible, and I listened to what the pilots said, and I made sure I gave him the tools he needed. I was calm and in control."*



Réactions aux situations d'urgence

- **Même « prévues » :**
 - « Surprise fondamentale », désarroi cognitif majeur
 - *«My initial reaction was one of disbelief. I can't believe this is happening. This does-n't happen to me.» (CDB)*
 - *« The truth was, I felt like I was hit by a bus" (ATC)*
 - Enorme variabilité des conditions réelles (facteur « chance » considérable)
- On sent bien que des **capacités spécifiques** et en partie contraires sont nécessaires:
 - Confiance **et** lucidité sur la situation (*I was sure I could do it*)
 - Appréhension détaillée **et** vision globale
 - Recours aux procédures **et** créativité
 - Expérience **et** critique de l'expérience
 - Bon sens **et** opportunisme
 - Affirmation de soi **et** écoute
 - Optimisme **et** conscience des limites (« yes we can » **et** « unable »)
 - Etc



Projet ACCOMPLI

- Enquête sur les compétences des pilotes
- Jeunes copilotes, compétences dans lesquelles ils ont confiance :
 - piloter l'avion dans des conditions normales, gérer des situations anormales sur lesquelles ils ont été formés
- Compétences dans lesquelles ils n'ont pas confiance : gérer la diversité des CDB, des situations opérationnelles, interprétation des procédures, situations « borderlines »
- Suggestions : simulations dans lesquelles ils n'ont pas été briefés au préalable

Dédale-DGAC 2006



Etre préparé à ne pas être préparé...

- Limites de la formation actuelle des pilotes en simulateur :
 - Reconnaître et à réagir à une série de scénarios connus
 - Pas de développement de compétences à la gestion de l'incertitude
- Paradoxe : dans les systèmes ultra sûrs la réalité confronte très peu à des situations incertaines



Perspectives (formation)

- Enhanced Safety through Situation Awareness Integration in training (ESSAI) (Hörman et al, 2003)
- Objectifs :
 - Minimiser les pertes de SA
 - Fournir des stratégies de gestion des menaces au cours d'opérations normales et anormales
- Méthode : formation en simulateur sur 1 journée
- Résultats : effets positifs de la formation sur la SA et la gestion des menaces
- Taux d'accidents médicaux inférieurs pour les chirurgiens pédiatriques pratiquant régulièrement la simulation mentale (what if ?) des complications




Perspectives organisationnelles : la résilience

- « Capacité intrinsèque d'un système à ajuster son fonctionnement avant, pendant ou après des changements et des perturbations, de sorte qu'il puisse assurer ses missions dans des conditions à la fois prévues et imprévues » (Hollnagel)



Sécurité Réglée et Sécurité Gérée (Amalberti)

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



Perspectives organisationnelles : la résilience

- Un système résilient doit être à la fois préparé à :
 - Réagir à des situations inconnues
 - et...être non préparé
- Compromis entre :
 - Efficacité (degré d'adaptation d'un système)
 - Flexibilité (« largeur de bande » de l'adaptation d'un système)

