

**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 attention to 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

---

---

---

---

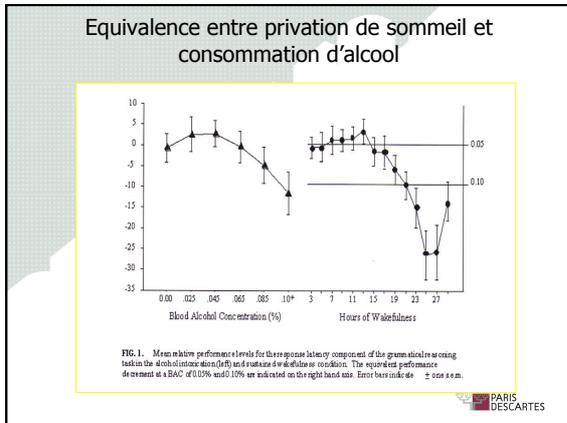
---

---

---

---






---

---

---

---

---

---

---

---

- ### 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



---

---

---

---

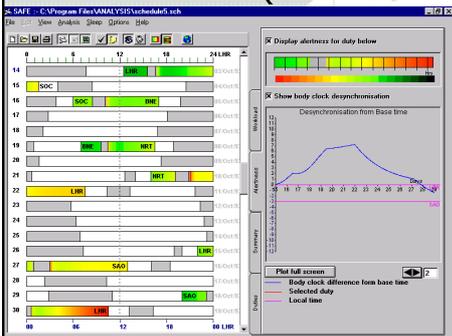
---

---

---

---

### 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) 



```
graph LR; A[Phase I Simulation rotations et repos à bord avec modèle prédictif de fatigue (SAFE) 2002] --> B[Phase II Validation des prédictions du modèle sur des vols long-courriers 2003]; B --> C[Phase III Validation des prédictions du modèle sur des vols ultra long-courriers 2004]; C --- D[Enregistrements polysomnographiques en vol (Université de Massey, NZ)]; D --- E[Formation des PNT/PNC sur la gestion du sommeil et de la vigilance]; E --- F[Autorisation par la CAA de Singapour];
```



---

---

---

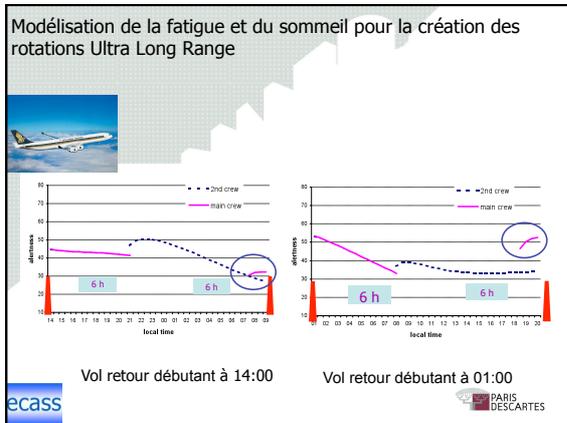
---

---

---

---

---




---

---

---

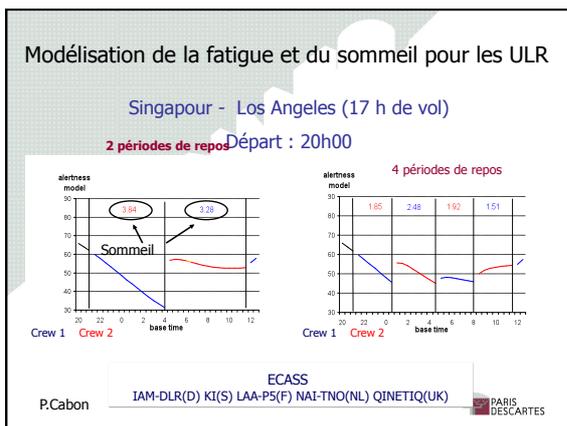
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---

## Stress et sécurité aérienne

PARIS DESCARTES

---

---

---

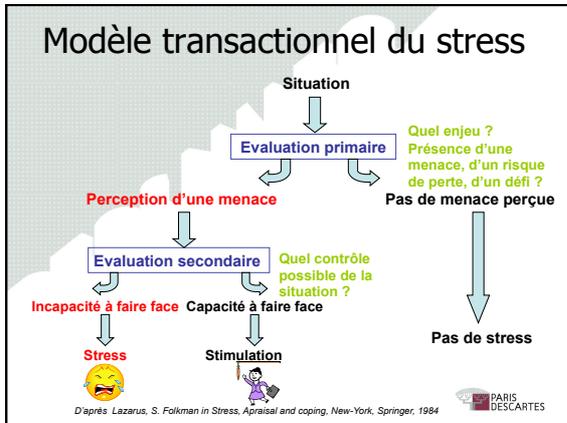
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---

### 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

Processus cognitif ↓

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

---

---

---

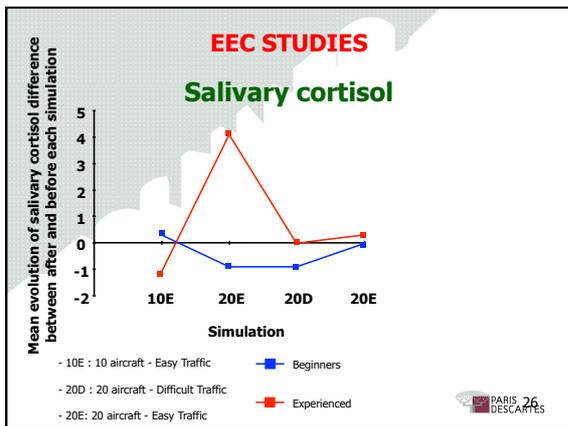
---

---

---

---

---



---

---

---

---

---

---

---

---

### 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

Navigation Display Primary Flight Display

---

---

---

---

---

---

---

---

### Accident d'Überlingen : le paradoxe du TCAS

TCAS Climb RA

ATC

Descend RA TCAS

**↑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



---

---

---

---

---

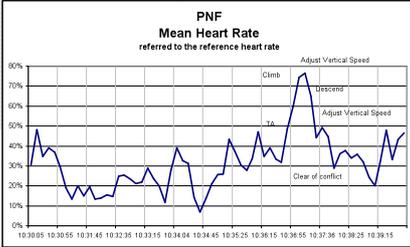
---

---

---

## 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**




---

---

---

---

---

---

---

---

---

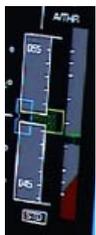
---

## 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)




---

---

---

---

---

---

---

---