

La simulation en aéronautique



Institut Supérieur de l'Aéronautique et de l'Espace

Mickaël Causse - ISAE

La simulation en aéronautique

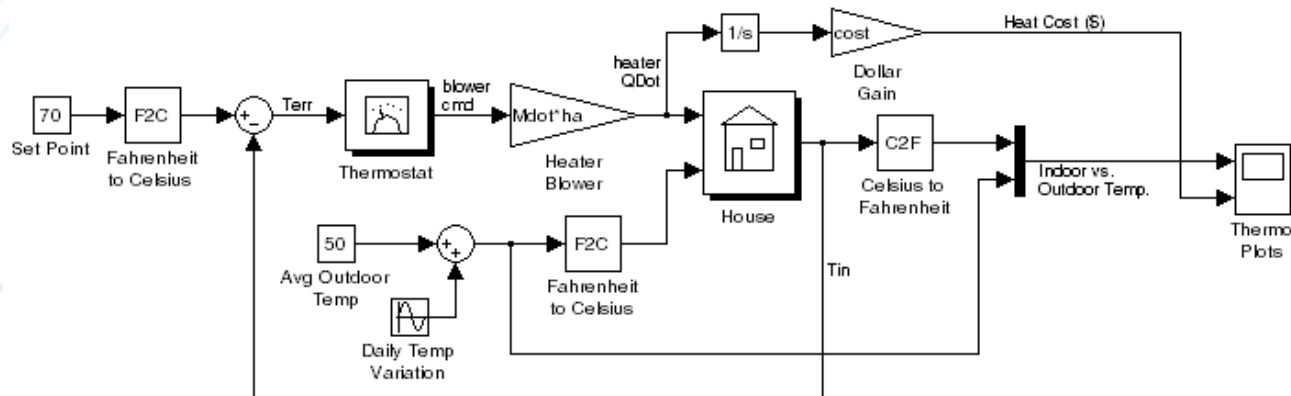
Plan du cours

- Introduction
 - Un peu d'histoire
 - Le simulateur de l'ISAE
- Quelques recherches
 - Etudes sur simulateur pc
 - Etudes en simulateur sur vérin
 - Etudes en vol réel
- La neuroergonomie
 - Intérêts de l'approche
 - Etude en neuroimagerie



Introduction

- Un **simulateur** permet de modéliser un système réel
 - Reproduction virtuelle sous des conditions contrôlables
- Simulateur **non piloté** : l'homme est en amont
 - ex. modélisation de la thermodynamique d'une maison (impacts de la variation de la température extérieure, déclenchement du chauffage etc.)



House Thermodynamics
(Double click on the '?' for more info)



Double click
here for
Simulink Help

To start and stop the simulation, use the 'Start'
selection in the 'Simulation' pull-down menu

La simulation en aéronautique

Plan du cours

- Introduction
 - Un peu d'histoire
 - Le simulateur de l'ISAE
- Quelques recherches
 - Etudes sur simulateur pc
 - Etudes en simulateur sur vérin
 - Etudes en vol réel
- **La neuroergonomie**
 - Intérêts de l'approche
 - Etude sur les neurones miroirs
 - Etude en neuroimagerie



Introduction

- Simulateur **piloté** : l'homme est dans la boucle de simulation temps réel
 - L'objectif est de lui faire piloter le simulateur
 - Suite aux actions, les interfaces physiques du simulateur fournissent les résultats perceptibles (visuels, proprioceptifs, haptiques, sonores...)

- Plusieurs types **d'applications** :

- Les simulateurs de **formation** (transports, militaire, nucléaire...)
 - Formation initiale/continue, entraînement des pilotes, opérations militaires...

- Les simulateurs de **divertissement**
 - Simulateur de train, d'automobile, de parc d'attraction, de vol ...

- Les simulateurs **d'étude/de recherche**
 - Conception, mise au point, IHM ...
 - Enquête liée à un accident
 - Étude du comportement : stress, vigilance, orientation dans l'espace...



Introduction

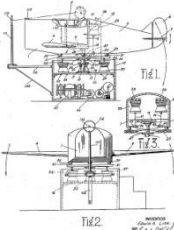
▪ Premier simulateur de vol (1909) : le tonneau Antoinette

- Poste de pilotage monté sur rotule et actionné manuellement en lacet, roulis et tangage
- Entraînement à une activité complexe



▪ Premier VRAI simulateur de vol (1929) : le Link Trainer

- Apprentissage du vol aux instruments (intégration des instruments de bord)
- Mouvement électro-pneumatique en réponse aux commandes du pilote
- Station externe instructeur (micro/casque)
- « Crabe » : écriture de la trajectoire sur carte



Introduction

Des simulateurs de vol analogiques ...

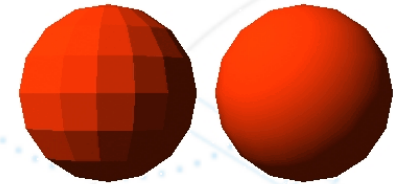
- Simulateur de vol **TL39**
 - Une caméra filme une maquette du terrain (model board)
 - L'image est retransmise au pilote via un moniteur
-
- Simulateur de vol **TL39-DoF** avec mouvement
 - L'Instructor Operator Stations (IOS) permet de créer des conditions normales et anormales
 - Panne moteur, panne instruments de bord, météo, trafic, déroutement....



Introduction

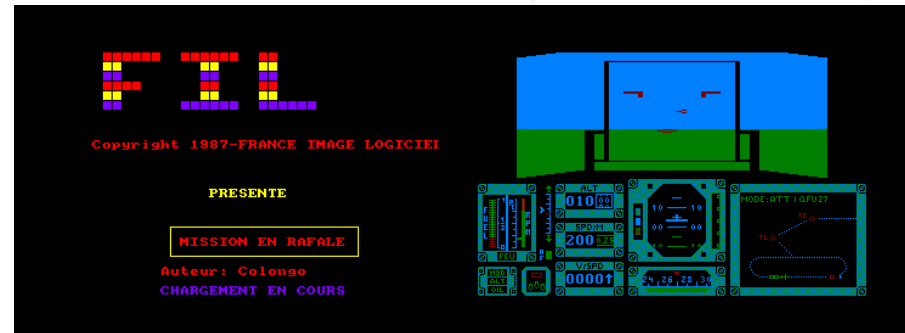
... Aux simulateurs de vols numériques

- ≈ 1970 : premières images de synthèses (feux de piste...)
- ≈ 1980 : ombrages de Gouraud
- 1982 : Flight Simulator 1.0
- 1987 : Mission en rafale



Flat

Gouraud



- ≈ 1990 : premiers simulateurs avec images de synthèses 3D texturées
- 1993 : Flight Simulator 5.0
- 2011 : Flight Gear 2.4.0



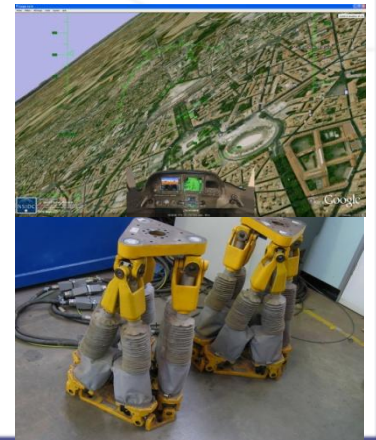
Introduction

Constitution d'un simulateur de vol : 3 composantes

- 1) **Commandes pilote :**
 - Aussi identiques que possibles à celles de l'aéronef réel

- 2) **Modèle numérique** (depuis les années 1970), les équations de l'aérodynamique :
 - La position : coordonnées et altitude ;
 - L'attitude : position par rapport à l'horizon ;
 - La vitesse horizontale et verticale : orientation et déplacement par rapport au sol, taux de montée ;
 - D'autres éléments liés à l'avion : paramètres moteur ...

- 3) **Feedback**, restitution perceptible (gourmand) :
 - Visuel : Instruments de bord (indispensable), scène visuelle (sol, météo...)
 - Audio : bruits de l'environnement, alarmes
 - impressions physiques ressenties par le pilote (assiette, accélérations (centripète en particulier), efforts sur les commandes...



Introduction

Full flight Simulator (A-D)

- Niveau D :
 - 6 degrés de liberté : 3 mouvements linéaires en x, y, z (latéral, longitudinal et vertical) + 3 rotations (lacet, roulis et tangage)

- Zero Flight Time



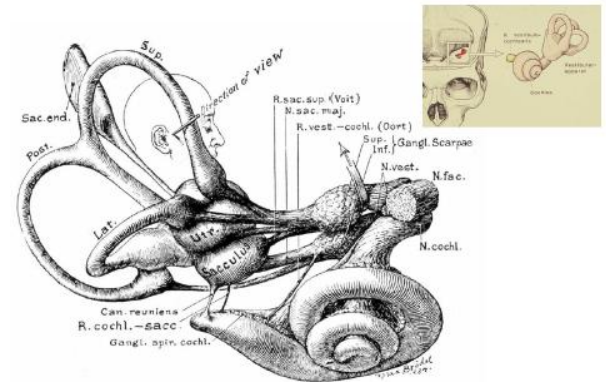
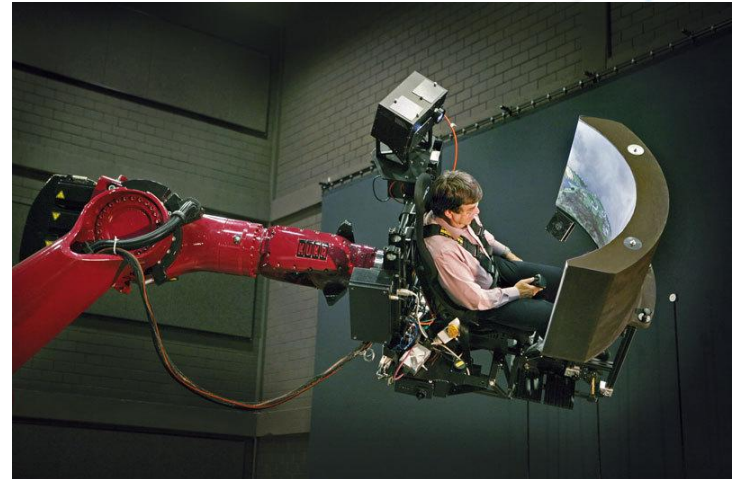
- Affichage collimaté
 - Permet de reproduire la sensation de profondeur dans la scène visuelle



Cross-Cockpit Collimated display system - flight simulator application

Introduction

- MPI MOTION SIMULATOR : (institut Max Planck)
 - Reproduction des accélérations lors de manœuvres extrêmes (ex. Perte de contrôle)
 - Recherche focalisée sur la désorientation spatiale
 - Interactions entre le vision et les signaux provenant de l'oreille interne au sein du cerveau
- Les organes otolithiques : déplacements horizontaux et verticaux
- Les canaux semi-circulaires : mouvement de rotation (lacet, roulis, tangage)
 - Excitations sensorielles truquées **mais** les plus analogues possibles à celles perçues dans la réalité **mais** connaissance limitée de la perception humaine (organe vestibulaire * vision)



- [MPI illustration](#)
- [MPI et simulation F1](#)
- [MPI et UAV](#)

La simulation en aéronautique

Plan du cours

■ Introduction

- Un peu d'histoire
- Le simulateur de l'ISAE

■ Quelques recherches

- Etudes sur simulateur pc
- Etudes en simulateur sur vérin
- Etudes en vol réel

■ La neuroergonomie

- Intérêts de l'approche
- Etude en neuroimagerie



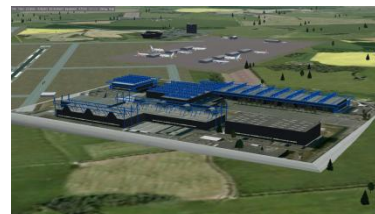
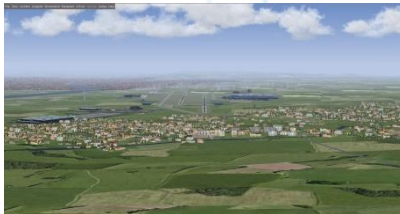
Introduction

Simulateur de l'ISAE

- Enseignement, formation continue et recherche en Facteurs Humains
- Générique : possibilité de piloter tous types d'avions
- Entièrement paramétrable : visualisations cockpit (EFIS Airbus, TDB avions légers...), visualisation 3D extérieure et noyau de simulation
- Mouvement sur 3 axes (vertical + tangage et roulis)
- MCDU, FCU, EFIS (PFD, ND...), auto-manette Airbus etc.



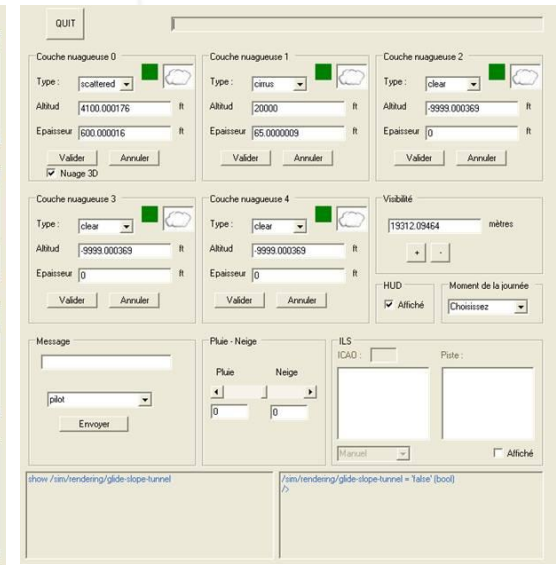
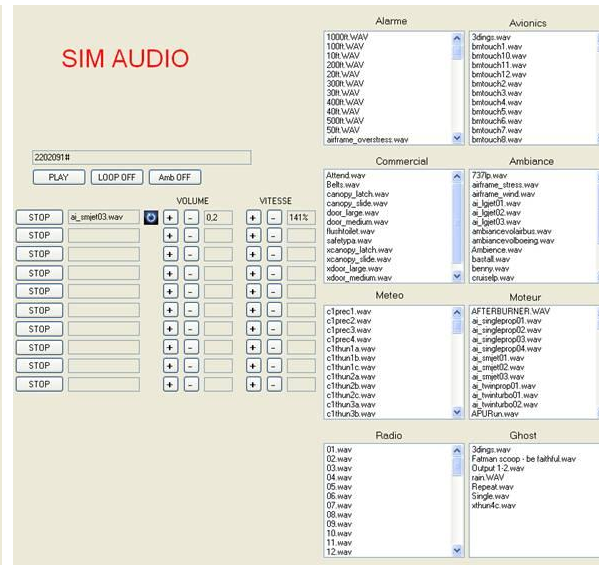
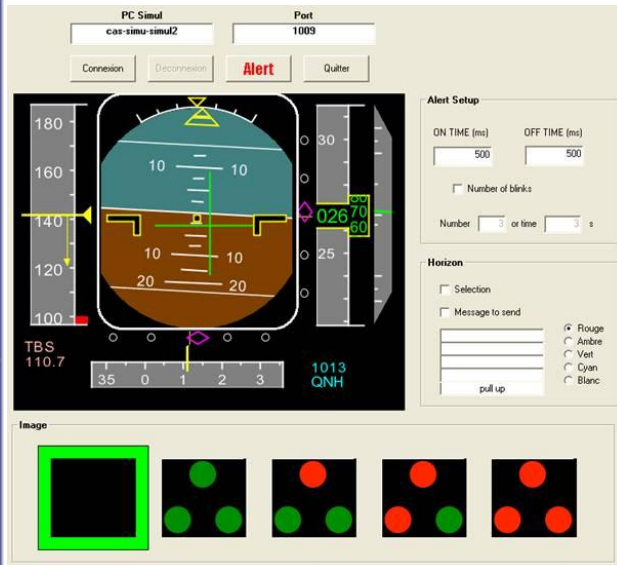
- Visualisation Flight Gear, modèles 3D maison



Introduction

Simulateur de l'ISAE

- IOS : Expérimentation « magicien d'OZ »
- Envoi d'événements au sein du PFD (ex. contremesures)
- Gestion de l'ambiance sonore (météo, alarmes sonores...)
- Météorologie paramétrable (couches nuageuses, distance de visi...)



Introduction

Limites de la simulation

▪ Validité de la simulation

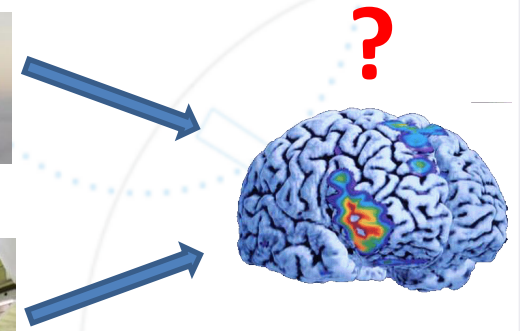
- Reproduction approchée de la réalité
- Réalisme de la scène visuelle
- Modèle de vol

▪ Enveloppe des mouvements

- Considérablement moindre que celle d'un vrai véhicule
- Impossibilité de reproduire à l'identique les excitations sensorielles que reçoit le récepteur vestibulaire

▪ Différence de contexte

- Enjeux humains
- Enjeux financiers
- Dimension psychologique (stress, hiérarchie...)



La simulation en aéronautique

Plan du cours

- Introduction
 - Un peu d'histoire
 - Le simulateur de l'ISAE
- Quelques recherches
 - Etudes sur simulateur pc
 - Etudes en simulateur sur vérin
 - Etudes en vol réel
- La neuroergonomie
 - Intérêts de l'approche
 - Etude en neuroimagerie



Le pilotage : une activité rationnelle

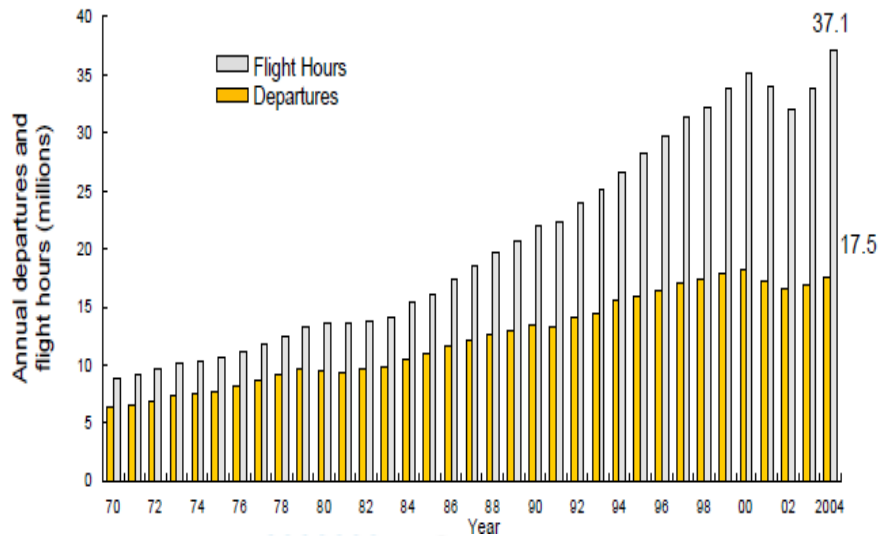
- Séquences d'actions formalisées

- Prises de décisions basées sur des éléments objectifs
- Environnement dynamique et incertain

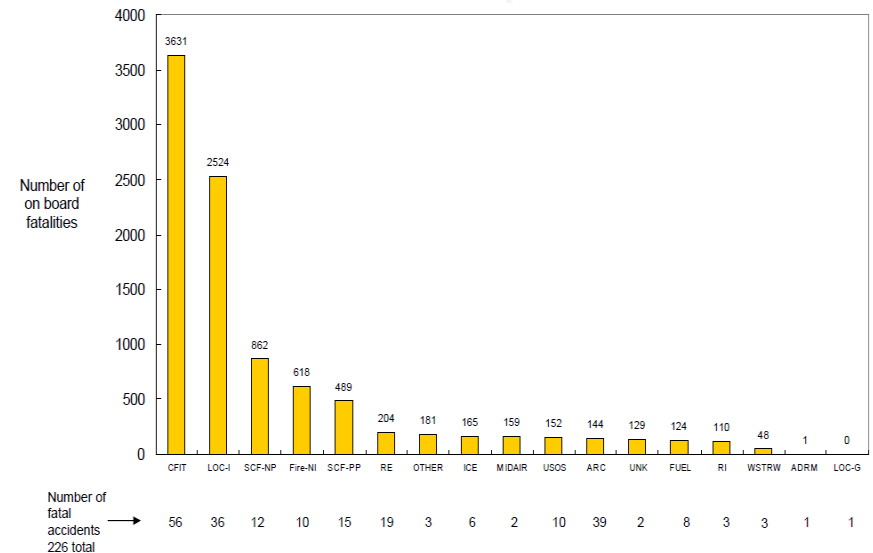
- Cas de l'aviation légère (AG)

- Peu d'assistance au pilotage (TCAS)
- Pas d'autopilote / de copilote

- Environ un accident par semaine



- 70% des accidents imputables aux facteurs humains (Wiegmann, 1999)



Pilotage d'avion léger et performance cognitive

?

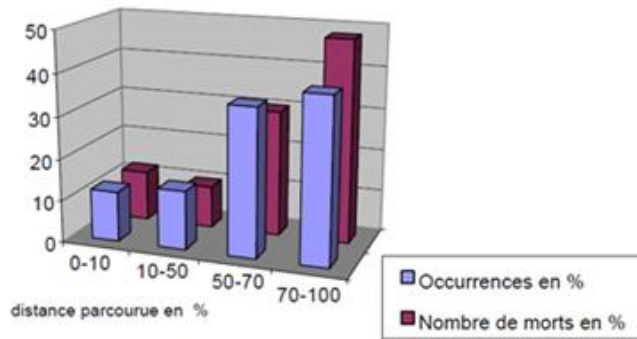


INSTITUT DE LA LONGEVITE ET DU VIEILLISSEMENT

- Causse, M., Dehais F., Pastor J. (2011). *The International Journal of Aviation Psychology*

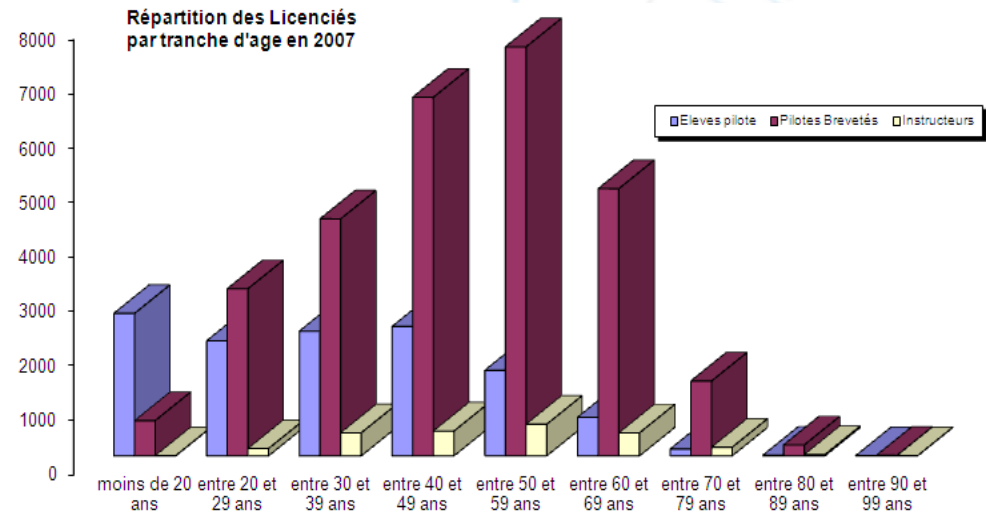
Vieillesse des pilotes de l'aviation générale (AG)

- *Objectif destination (BEA, 2000)*



Distance parcourue en %	0	10	50	70	100
Occurrences en %	12	14	35	39	
Nombre de morts en %	12	10	30	48	

- 41% des pilotes ont plus de 50 ans



- Déclin cognitif plus critique que déclin physique (Schroeder et al, 2000)

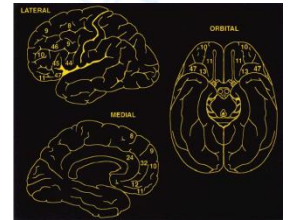
Effets délétères du vieillissement sur les fonctions exécutives

Effet du vieillissement sur le pilotage

- Effet néfastes du vieillissement (Yesavage et al., 2007, Kay, 2001...)
- Remise en question de cette relation (Li et al., 2002, 2003...)
- Effet compensateur de l'expérience (Morrow et al., 2001 ; Taylor et al., 2005...)
- Variabilité inter-individuelle (Buckner, 2004)
- Traits de personnalité (Hardy & Parasuraman, 1997)
- Liens entre cognition et pilotage : une thématique sensible
 - Allocation et partage des ressources (Tsang & Shaner, 1998)
 - Attention (Knapp & Johnson, 1996),
 - Résolution de problème (O'Hare et al., 1994)
 - Raisonnement déductif (Wiggins & O'Hare, 1995)
- Cogscreen-AE / Wombat
 - Batteries larges en termes de fonctions explorées
 - Yakimovich et al., 1994 : prédictif des déviations de trajectoire

Les FE : un *chef d'orchestre* fragile

- Comportements orientés vers un but et adaptation aux situations complexes et nouvelles
- Forte implémentation au sein du lobe frontal (Shallice & Burgess, 1991)
- Très vulnérables
 - Aux effets de l'âge (Raz, 2000), détérioration préfrontale précoce (Tisserant & Jolles, 2003)
 - Au stress (Schoofs et al., 2008), à l'anxiété (Castaneda et al., 2008)
- 3 fonctions bas niveau distinctes et modérément corrélées (Miyake et al., 2000)
 - *Set-shifting* : flexibilité mentale
 - *Updating & monitoring* : MAJ et contrôle du contenu de la MDT
 - *Inhibition* : inhibition de réponses dominantes
 - Toutes affectées par le vieillissement (Fisk & Sharp, 2004)



Effet du vieillissement sur le pilotage

- FE impliquées dans le pilotage et altérées par le vieillissement
- Li et al., 2005 : risque progresse des 35 ans chez les pilotes peu expérimentés
- Les études ont souvent trait à la communication (Morrow et al., 2003) ou sont basées sur des situations très simplifiées (Wiggins & O'Hare, 1995)
- Relativement peu d'études portent sur l'AG
- Pas d'études focalisant spécifiquement sur les trois FE bas niveau de Miyake et al., 2000
- Pas de limite d'âge en AG

Objectifs

- 1) Évaluer l'impact de l'âge sur les fonctions exécutives (FE) de pilotes de l'AG
- 2) Déterminer les facteurs les plus prédictifs de la performance de pilotage sur simulateur, notamment entre *âge chronologique* et *âge cognitif*
- 3) Contrôler des caractéristiques telles que l'expérience de pilotage et certains traits de personnalité

Matériel et méthodes

Participants

- 24 Pilotes privés qualifiés VRF, $18 < \text{âge} < 70$
- Langue française
- Latéralisés à droite (Oldfield)
- Absence de troubles neurologique/psychiatrique
- Pas d'expertise particulière en logique
- Homogénéisation de la distribution de l'expérience de vol

Matériel et méthodes

Caractéristiques des pilotes

- Age
- Expérience de pilotage totale en nombre d'heures
- Niveau de scolarisation

- Niveau d'impulsivité : BARRAT Impulsiveness Scale (BIS-10)
 - 34 items et 3 sous scores
 - Impulsivité cognitive (prise de décision rapide, 11 items)
 - Impulsivité motrice (action sans réflexion, 11 items)
 - Impulsivité *non-planning* (*orientation dans le présent*, 12 items)

Matériel et méthodes

Définition de l'âge cognitif

- Focalisation sur trois FE de bas niveau (Miyake et al., 2000)
 - Mise à jour (MAJ)
 - Set-shifting
 - Inhibition
- Ajout de deux capacités cognitives bien établies
 - Raisonnement (reflet de l'intelligence fluide, Decker 2007)
 - Rapidité psychomotrice

Matériel et méthodes

Batterie de test et scénario de pilotage



Fig. 32 : Illustration de l'interface du simulateur de vol. L'appareil piloté durant l'expérimentation est un Cessna C172 skyhawk, avion léger très répandu dans l'AG.

Matériel et méthodes

Scénario de vol : variables mesurées

- Performance de pilotage basée sur la qualité de la navigation
 - VD 1 : Flight Path Deviation (FPD) : quantité de déviation angulaire sur le plan horizontal par rapport à une navigation idéale
- Prise de décision lors de l'atterrissage basée sur un calcul de vent traversier : 6 nœuds au dessus des spécifications de l'appareil
 - VD 2 binaire : mauvaise décision si poursuite de l'atterrissage au-delà du seuil de piste

Résultats

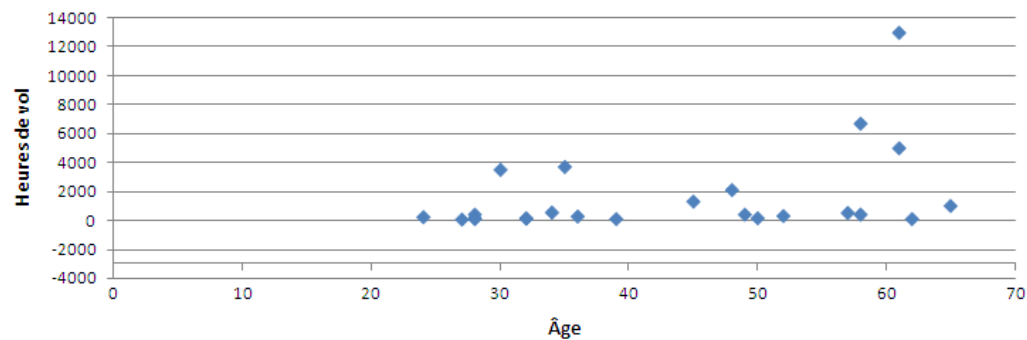
Causse M., Dehais F., Pastor J. (2010). Flight experience and executive functions predict flight simulator performance in general aviation pilots. 3rd International Conference on Research in Air Transportation. IC RAT 2008. Budapest, Hongrie.

Résultats

Caractéristiques des pilotes

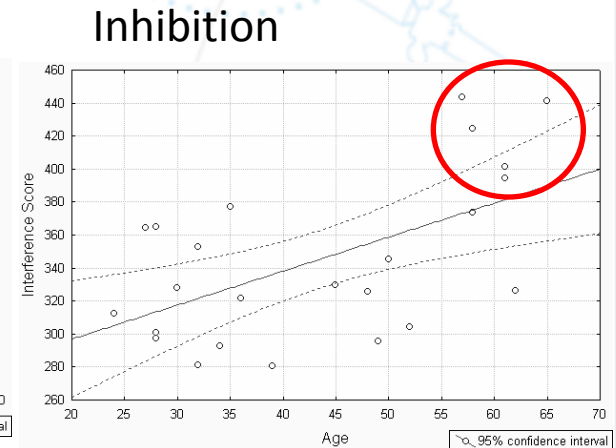
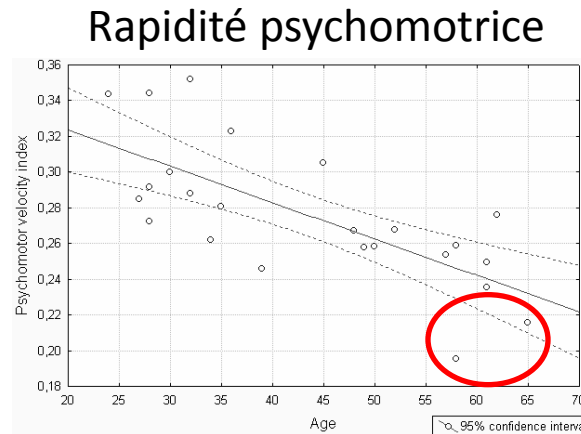
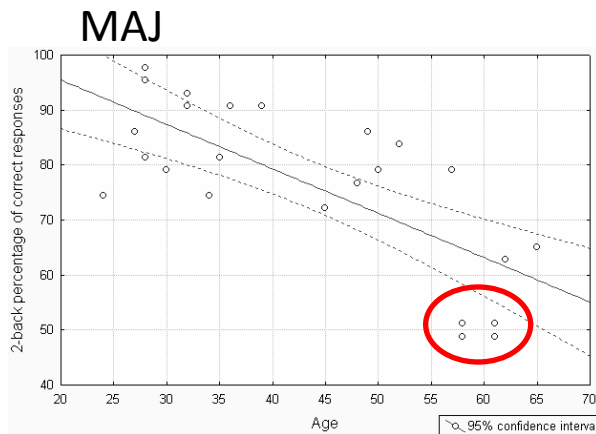
- Age moyen : 43.3 ans ($SD = 13.6$; *Range* 24-65)
- Niveau de scolarisation moyen : 15.45 ans ($SD = 2.06$)
 - Pas de corrélation avec l'âge ($p = .110$, $r = -.32$)
- BARRAT Impulsiveness Scale score moyen : 41.85 ($SD = 8.89$)
- Niveau bas en comparaison à la pop masculine (54, $SD = 17$)
 - Pas de corrélation avec l'âge ($p = .129$, $r = -.35$)
- Expérience de pilotage moyenne 1676 (*Range* 57-13000)
 - Pas de corrélation avec l'âge ($p = .056$, $SD = +.39$)

Expérience de vol totale (en heures) en fonction de l'âge

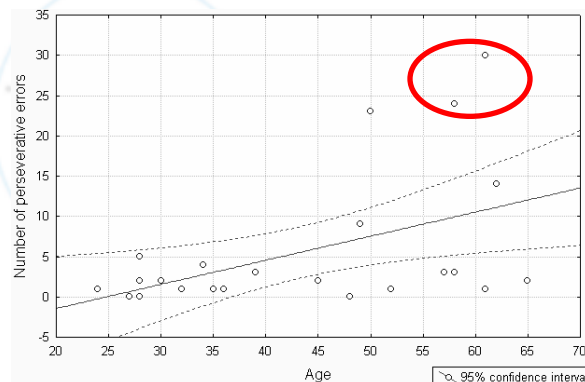


Résultats

Impact de l'âge sur les variables neuropsychologiques



Set-shifting



55 + : Augmentation du nombre d'outliers

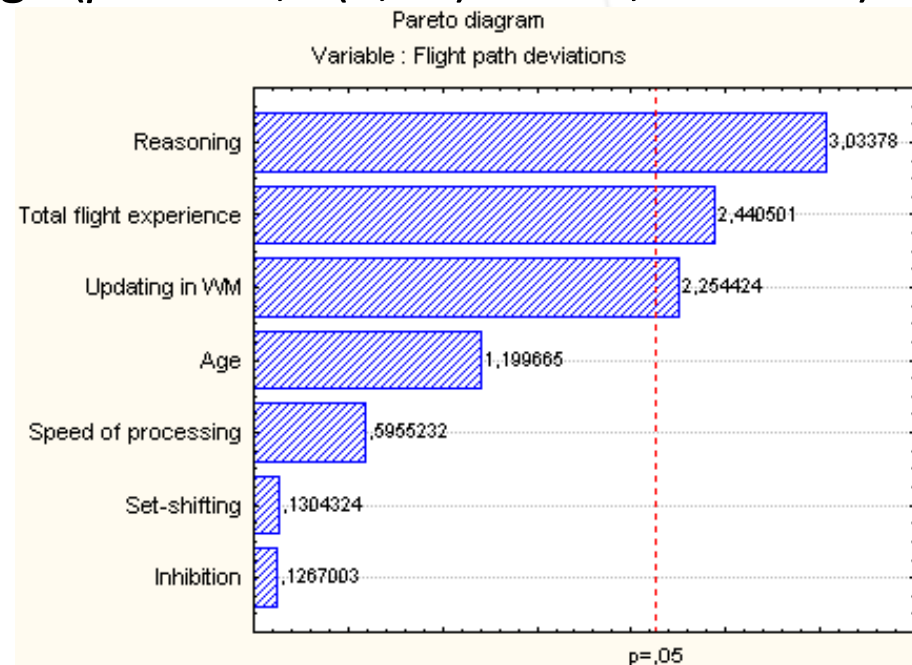
Variables	Corrected p-value	r
MAJ	< .000***	-.73
Rapidité psychomotrice	< .000***	-.71
Inhibition	= .011*	+.57
Set-shifting	= .034*	+.48
Raisonnement	= .066	-.38

Résultats

Variables prédictives de la performance de pilotage

- FPD moyenne : 27.69 ($SD = 10.38$)
- 2 variables cognitives prédictives :
 - MAJ ($p = .008$, $F(1,15) = 9.20$, $t = -3.03$)
 - Raisonnement ($p = .039$, $F(1,15) = 5.08$, $t = -2.25$)
- + Expérience totale de pilotage ($p = .027$, $F(1,15) = 5.95$, $t = -2.44$)

Coefficient de détermination r^2
ajusté = 44.51%



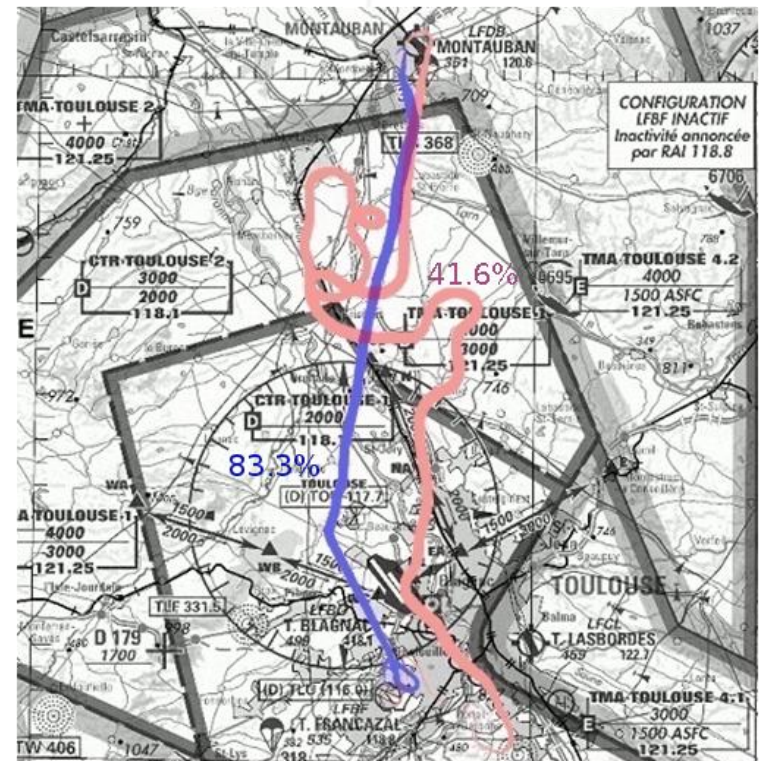
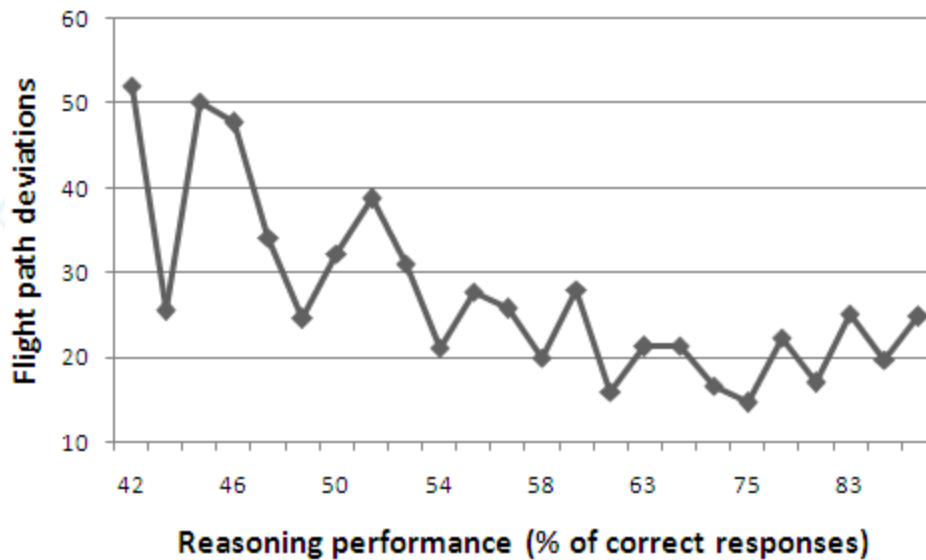
Résultats

Variables prédictives de la performance de pilotage

FPD et performances de raisonnement

Illustration : 2 pilotes

Population



Résultats

Variables prédictives de la pertinence de la prise de décision

- Prise de décision erronée : 41.6% (10 / 24)
- 1 variable cognitive prédictive :
 - MAJ ($p < .001$, $F(1,10) = 21.27$, $t = + 4.61$)
- + Expérience de pilotage ($p = .003$, $F(1,10) = 14.77$, $t = + 3.84$)
- + Impulsivité motrice ($p = .037$, $F(1,10) = 5.73$, $t = -2.39$)

Matrice de classification : 100%
pour les décisions erronées, 91%
pour les décisions correctes

Variables	β	Standard error	$F(1,14)$	t	p
Age	.224	.172	.417	.646	.534
XP	.925	.113	14.263	3.776	.004**
Imp. motrice	-.627	.123	6.528	-2.555	.030*
Imp. Cognitive	.041	.102	.042	.205	.841
Imp. Non-planning	-.475	.110	4.630	-2.151	.059
Rapidité psychomotrice	.268	.132	.928	.963	.360
Raisonnement	-.144	.116	.486	-.697	.503
MAJ	1.551	.162	20.676	4.547	<.001***
Set-shifting	-.379	.112	2.584	-1.607	.142
Inhibition	.264	.130	1.072	1.035	.327

Conclusions

Impact de l'âge sur les FE

- Toutes les FE sont affectées (Fisk, 2004)
- Accroissement du nombre d'outlier à partir de 55 ans (Hardy, 2007)
 - Effet sur le set-shifting discutable
- Rôle bénéfique de l'éducation, mais... (Tucker-Drob, 2009)
- Raisonnement (De ney, 2009)
- Vitesse de traitement psychomoteur (Salthouse, 1996)

Conclusions

Variable prédictive de la performance de pilotage

- Raisonement
 - Scénario complexe, utilisation du système de radionavigation, panne...
- MAJ en MDT (Taylor et al., 2000)
 - Environnement dynamique et changeant
 - Intégration continue de nouvelles informations
- Set-shifting et inhibition : absence d'effet
- Idem vitesse de traitement psychomoteur : nature de la tâche?
- Rôle bénéfique de l'expérience de vol (Morrow et al., 2001 ; Taylor et al., 2007)
- Âge chronologique : pas prédictif en soi

Conclusions

Variable prédictive de la prise de décision lors de l'atterrissage

- MAJ en MDT
 - Muthard et al., 2003 : difficulté à intégrer modification météo et réviser le plan de vol
 - Pas de récupération en mémoire des spécifications de l'aéronef
 - Raisonnement n'est pas à incriminer
- Expérience de vol : mauvaise évaluation du risque si faible expérience
 - Wiegman et al., 2002 : temps passé en vol VFR en condition IFR diminue avec l'expérience
- Impulsivité motrice
 - Agir sans en peser pleinement les conséquences
 - Sicard et al., 2003 : impulsivité facteur de prise de risque en aéronautique
 - Goh & Wiegmann, 2001 : excès de confiance 7 fois plus cité lors d'accidents VFR-IMC
- Échantillon restreint

- Reproduction de l'étude avec 32 pilotes
- Analyse des effets de l'âge sur la performance cognitive
- + Analyses analogues



- Causse, M., Dehais F., Arexis, M., Pastor J (2011). *Aging, Neuropsychology and Cognition*

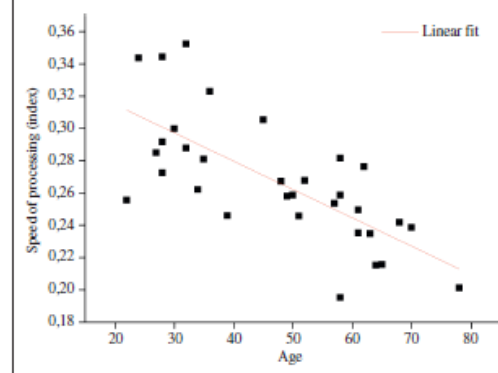
Résultats

- Toutes les fonctions cognitives sont affectées par l'âge excepté le raisonnement

TABLE 1. Neuropsychological performances regressed on age (n = 32) (*p ≤ .05; **p ≤ .01; *p ≤ .001)**

Variables	r	R ²	Corrected p-value
Update in WM	-.65	.42	<.001***
Set-shifting	+.40	.16	.042*
Inhibition	+.57	.32	.002**
Reasoning	-.31	.09	.0829
Speed of processing	-.72	.52	<.001***

FIGURE 1. Speed of processing index regressed on age (n = 32).

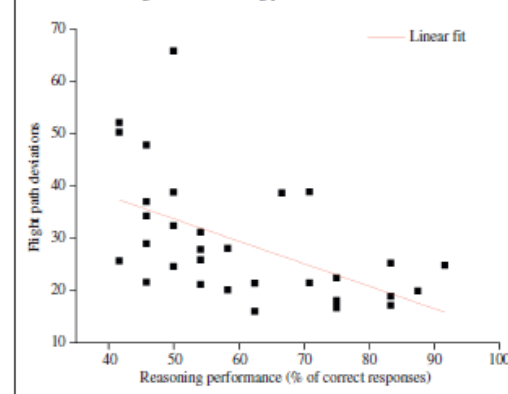


- Corrélation entre les caractéristiques pilotes et la performance de pilotage

TABLE 2. Flight experience-partialled correlation between age and neuropsychological performances with piloting performance (n = 32) (*p ≤ .05; **p ≤ .01)

Variables	r	R ²	Corrected p-value
Age	.50	.25	.020*
Update in WM	-.41	.17	.022*
Set-shifting	-.23	.5	.452
Inhibition	+.19	.3	.322
Reasoning	-.54	.30	.006**
Speed of processing	-.45	.20	.050*

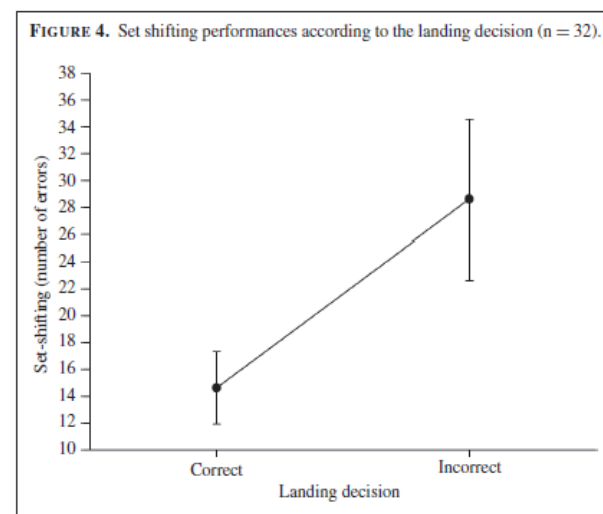
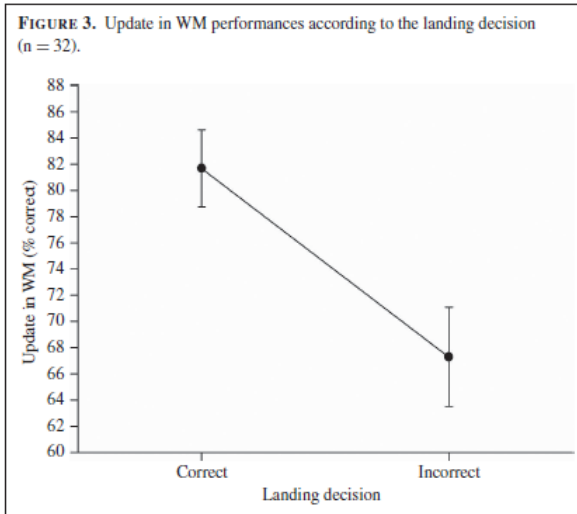
FIGURE 2. FPD regressed on reasoning performances (n = 32).



- Causse, M., Dehais F., Arexis, M., Pastor J (2011). Aging, Neuropsychology and Cognition

Résultats

- 5 corrélations partielles supplémentaires
 - Contrôle de l'expérience de vol + score composite performance cognitive
 - Aucune de ces corrélations ne demeure significative
 - Corrélation entre âge et performance cognitive médiatisé par le déclin cognitif
- Confirmation de la difficulté pour les pilotes de réviser le plan de vol :
 - 50% d'entre eux ont poursuivi l'atterrissage à tort
- En particulier la décision erronée était corrélée avec
 - La mise à jour en mémoire de travail et la flexibilité mentale



La simulation en aéronautique

Plan du cours

- Introduction
 - Un peu d'histoire
 - Le simulateur de l'ISAE
- Quelques recherches
 - Etudes sur simulateur pc
 - Etudes en simulateur sur vérin
 - Etudes en vol réel
- La neuroergonomie
 - Intérêts de l'approche
 - Etude en neuroimagerie



La simulation en aéronautique

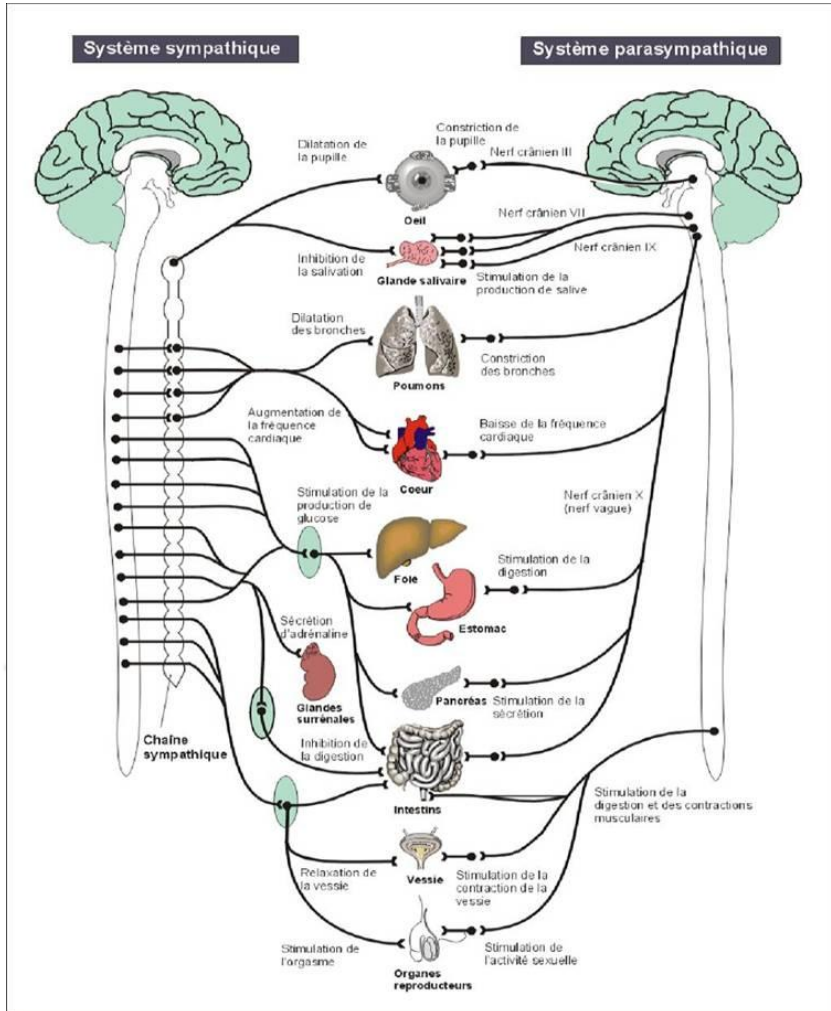
Plan du cours

- Introduction
 - Un peu d'histoire
 - Le simulateur de l'ISAE
- Quelques recherches
 - Etudes sur simulateur pc
 - Etudes en simulateur sur vérin
 - Etudes en vol réel
- La neuroergonomie
 - Intérêts de l'approche
 - Etude en neuroimagerie



Mesures objectives de l'état de l'opérateur

Mesures Physiologiques (SNA) : indices émotionnels et mentaux



Heitz (2008) dilatation pupillaire plus faible chez les "empans élevés" que chez les "empans faibles" tâche de mémoire de travail

Everhart 2002 : corrélation rythme cardiaque élevé avec performance dans tâche de fluence verbale

Farmer 1991 : augmentation du taux de cortisol (salive) lors de condition à haut stress dans le contrôle du trafic aérien

Mesures objectives de l'état de l'opérateur



Enregistrement de l'activité électrique du cœur ou mesure de l'activité dans les vaisseaux

Rythme cardiaque : nombre de pulsation minute

Pression artérielle : systole et diastole

HRV : variabilité, arythmie

Cout faible, bonne sensibilité, reflet de l'émotion, du stress, de la charge mentale

Recherche : variations de l'activité cardiaque du sujet placé dans certaines situations

Mesures objectives de l'état de l'opérateur

ECG normal

Onde P : dépolarisation des oreillettes droite et gauche (contraction). 0,08 à 0,1 sec.

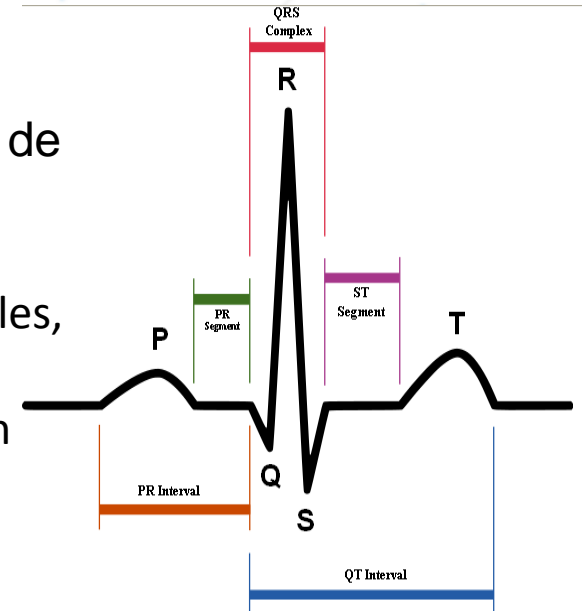
Intervalle PQ : temps nécessaire à la transmission de l'influx électrique du nœud sinusal des oreillettes au tissu myocardique des ventricules. 0,12 à 0,20 s.

Onde QRS : dépolarisation (et la contraction) des ventricules, droit et gauche. 0,1s

Segment ST : temps séparant le début de la dépolarisation ventriculaire représentée (complexe QRS) et la fin de la dépolarisation ventriculaire (onde T)

Intervalle QT : l'ensemble de la dépolarisation et de la repolarisation ventriculaire (temps de systole électrique). Durée diminue quand la fréquence cardiaque augmente.

Onde T : repolarisation (la relaxation) des ventricules. 0,20 à 0,25 s

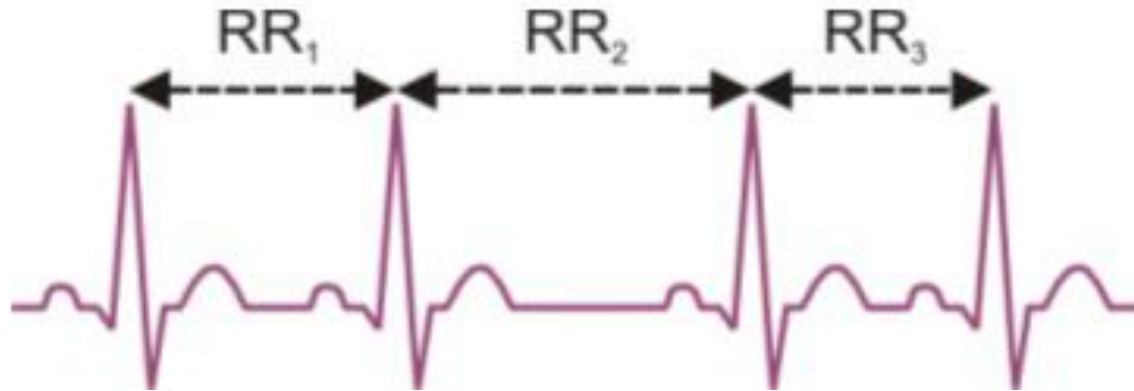


Mesures objectives de l'état de l'opérateur

Mesures possibles

Le rythme cardiaque

L'IBI (Interbeat interval ou beat-to-beat interval)



L'IBI : Les valeurs fluctuent à chaque battement au cours du fonctionnement normal, cette variation naturelle est l'heart rate variability (HRV).

Calcul :

$IBI = (1/HR*60)$ (normalement *1000 car exprimé généralement en millisecondes)

EX. **IBI de 1000** correspond à un **HR de 60** battements/min ou 1 battement/s

$HR = (1/IBI*60)*1000$

Mesures objectives de l'état de l'opérateur

Mesures possibles

L'heart rate variability

Calculée en analysant la série chronologique d'intervalles battement à battement

Réduction du HRV associé à diverses pathologies (hypertension, hémorragie...), à la charge mentale (Mulder, 1988), l'anxiété (Shinba, 2008).

Les mesures :

- domaine de temps : écart type des intervalles battement à battement pour une période
- domaine de phase : méthodes de théorie dynamique de systèmes
- **domaine de fréquence** : transformée de Fourier appliquée à la série chronologique d'intervalle de battement à battement. Exprime la quantité de variation pour différentes fréquences.

Plusieurs fréquences d'intérêt :

ULF Power in the ultra low frequency range < 0.003 Hz : variation jour/nuit

VLF Power in the very low frequency range $0.003-0.04$ Hz : activité physique?

LF Power in the low frequency range $0.04-0.15$ Hz : activité sympathique ++

HF Power in the high frequency range $0.15-0.4$ Hz : activité parasympathique + respiration

Discrimination des phases de vol sur avion léger par mesure du vecteur d'état pilote et de données subjectives



Ravigne, S., & Van Moe, T. (2009). *Rapport de PIR SUPAERO, unpublished.*

Participants

- 5 pilotes hommes (âge moyen = 41,4 ans; Expérience de vol moyenne = 2272 h)

Tâche

- 2 tours de pistes autour de l'aérodrome de Lasbordes (le 2^e vol était plus long d'environ 10m avec une courte croisière AE) :

- phase de prévol
- Décollage
- Montée
- Vent traversier
- Vent arrière
- Étape de base
- Finale/Atterrissage
- Roulage

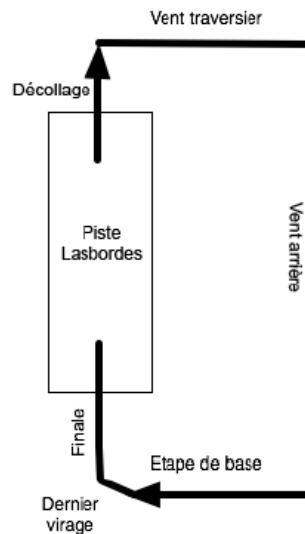


FIGURE 1 – Tour de piste sans croisière

N° du pilote	Initiales	Expérience en vol
Pilote 1	DAVA	Expérimenté
Pilote 2	FRDE	Débutant
Pilote 3	ETPE	Expérimenté
Pilote 4	MIKA	Intermédiaire

TABLE 1 – Récapitulatif de l'expérience des pilotes

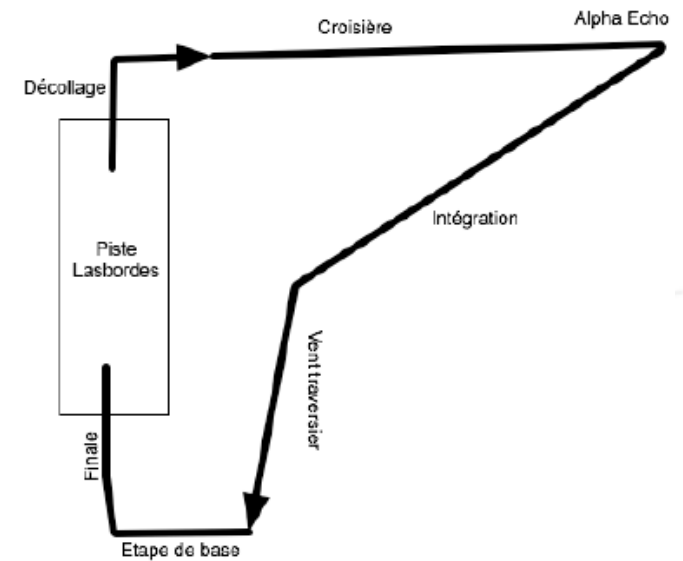
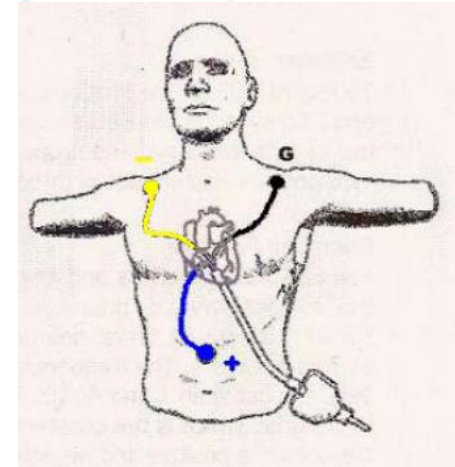


FIGURE 2 – Vol local

Mesure du rythme cardiaque

- ECG ProComp Infinity associé au capteur EKG-Flex/Pro (Thought Technology Ltd.)
- Fréquence d'échantillonnage à 2 kHz
- Mesure normalisée :

$$\Delta IBI = \left| \frac{IBI_{phase} - IBI_{repos}}{IBI_{repos}} \right| \cdot 100$$



Questionnaire subjectif

- Auto-évaluation de la **charge mentale** (réfléchir, analyser, se rappeler, décider) et de **l'anxiété** ressentie pour chaque phase
- Échelle allant de 1 à 10

Résultats

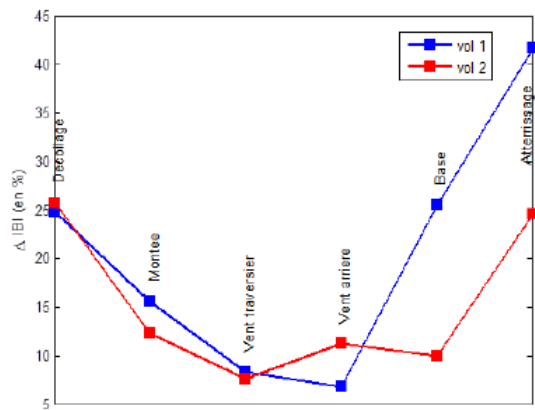


FIGURE 5 – Résultats obtenus pour 2 vols consécutifs réalisés par FRDE

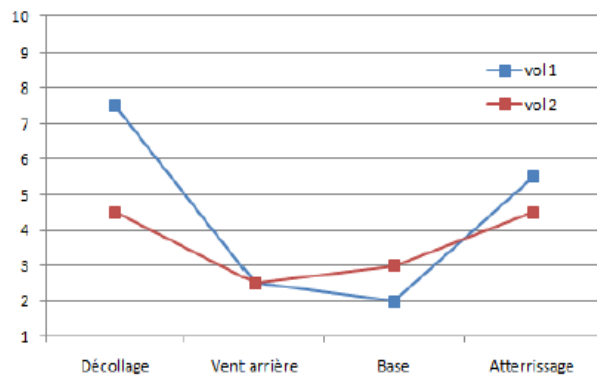


FIGURE 8 – Charge de travail pour les 2 vols de FRDE

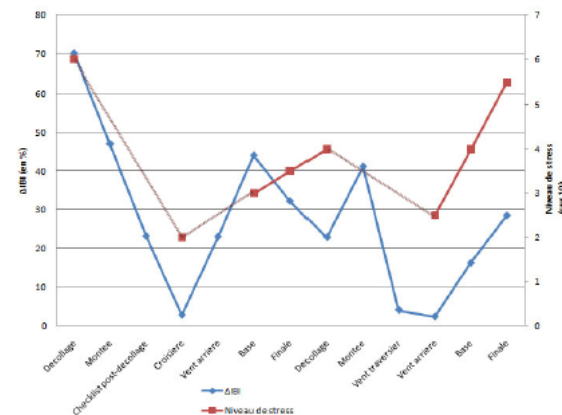


FIGURE 7 – Variation relative de l'IBI et niveau de stress pour 2 vols consécutifs de DAVA

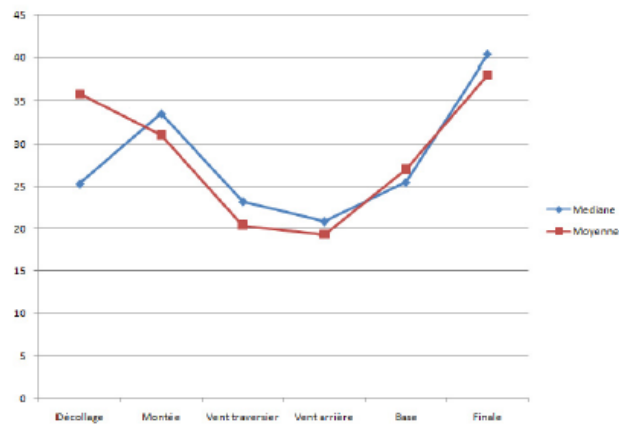


FIGURE 9 – Variation relative de l'IBI par rapport au repos pour tous les vols

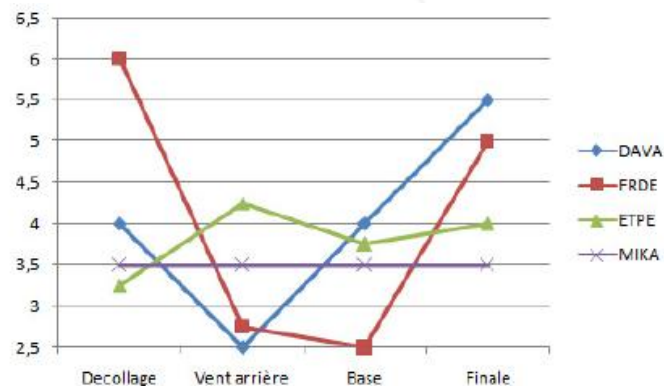


FIGURE 10 – Charge de travail en fonction des différentes phases de vol pour 4 des pilotes

Discussion

- **Rythme cardiaque :**

- Pic lors du décollage puis lors de la base et de la finale

- **Evaluation subjective :**

- Niveau de charge de travail et d'anxiété plutôt cohérent avec l'IBI : décollage et finale

- Force corrélation entre charge mentale et stress ressenti

- **Résultats cohérents avec une étude menée sur simulateur de vol de Boeing 747-400**

- Δ RC plus élevé durant le décollage et l'atterrissage

- Δ RC était significativement corrélé au score de NASA TLX ($r = 0.81, n = 40$)

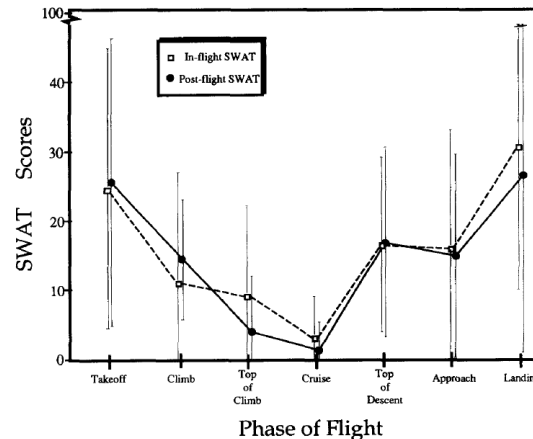
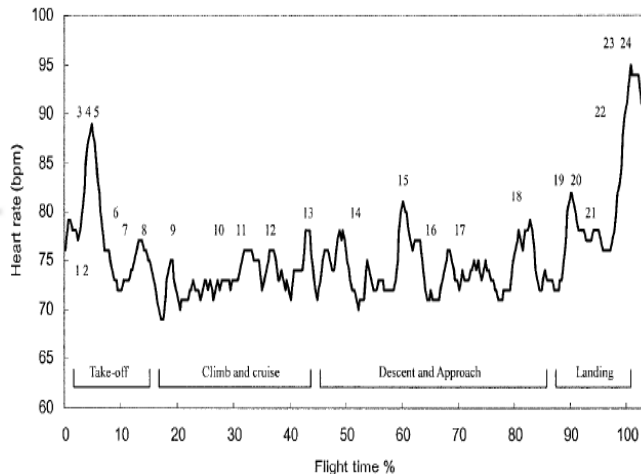
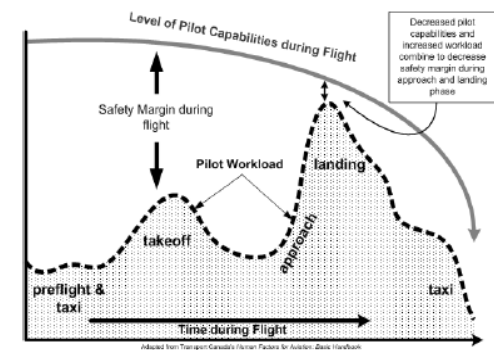


FIGURE 1 Mean in-flight and postflight SWAT ratings for nominal flight.



Lee et al. (2003). *Aviation, Space, and Environmental Medicine*

Corwin. (1992). *The International Journal of Aviation Psychology*

La simulation en aéronautique

Plan du cours

■ Introduction

- Un peu d'histoire
- Le simulateur de l'ISAE

■ Quelques recherches

- Etudes sur simulateur pc
- Etudes en simulateur sur vérin
- Etudes en vol réel

■ La neuroergonomie

- Intérêts de l'approche
- Etude sur les neurones miroirs
- Etude en neuroimagerie



Stimulation des neurones miroirs dans l'application d'un nouveau système d'alarme ergonomique en aéronautique



Segonzac, T., & Phan, J. (2011). *Rapport de PIR SUPAERO, unpublished.*

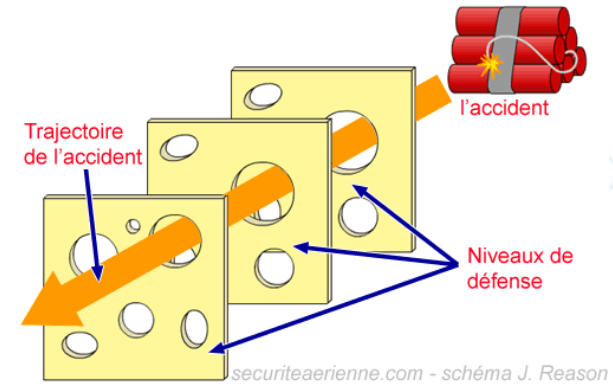
Pourquoi est-il nécessaire d'améliorer le système d'alarme actuel ?

- Controlled Flight Into Terrain (CFIT)
 - Catégorie d'accidents la plus courante
 - Catégorie la plus mortelle
 - Les pilotes ont pourtant un contrôle parfait de leur avion...
 - ... Mais ont une fausse idée de leur [situation dans l'espace](#)
- La proximité avec le sol n'est perçue qu'au tout dernier moment
- Procédure: plein gaz + action à tirer sur le manche

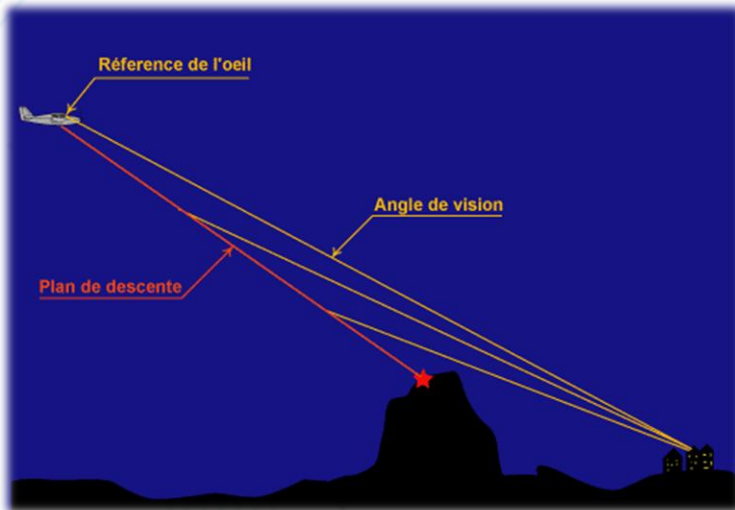


Pourquoi est-il nécessaire d'améliorer le système d'alarme actuel ?

- Controlled Flight Into Terrain (CFIT)
 - L'accident nait d'une multitude d'erreurs
 - Facteurs de risque : conditions météorologiques, management de la compagnie, formation des équipages...

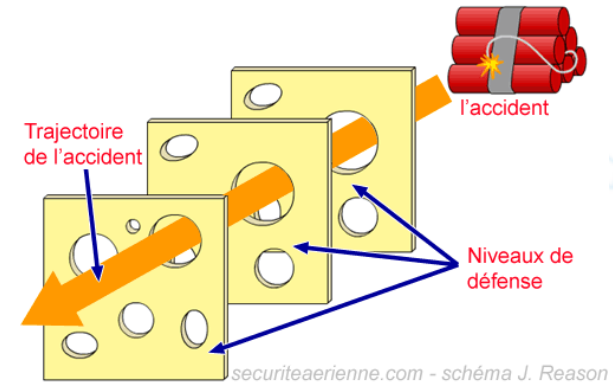


- **L'homme occupe une place cruciale dans le CFIT**

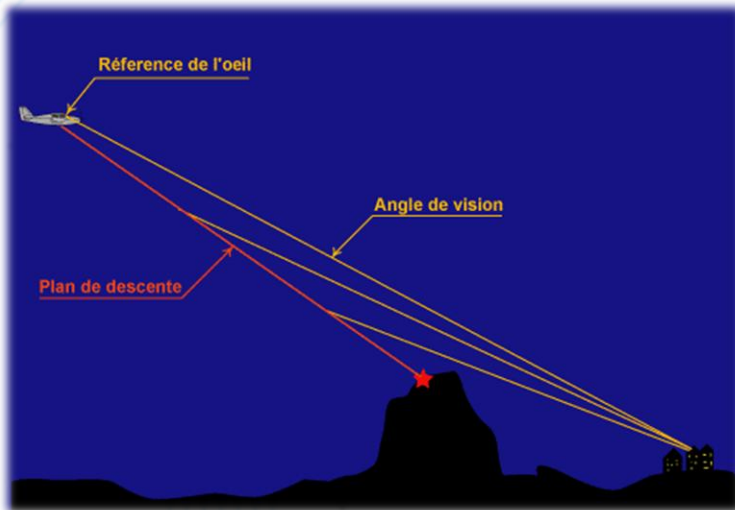


Pourquoi est-il nécessaire d'améliorer le système d'alarme actuel ?

- Controlled Flight Into Terrain (CFIT)
 - L'accident nait d'une multitude d'erreurs
 - Facteurs de risque : conditions météorologiques, management de la compagnie, formation des équipages...



- L'homme occupe une place cruciale dans le CFIT

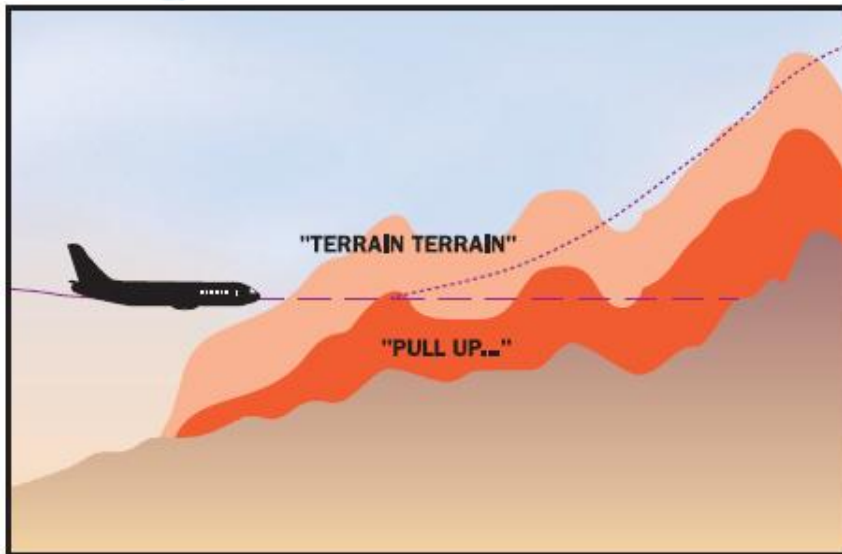


Pourquoi est-il nécessaire d'améliorer le système d'alarme actuel ?

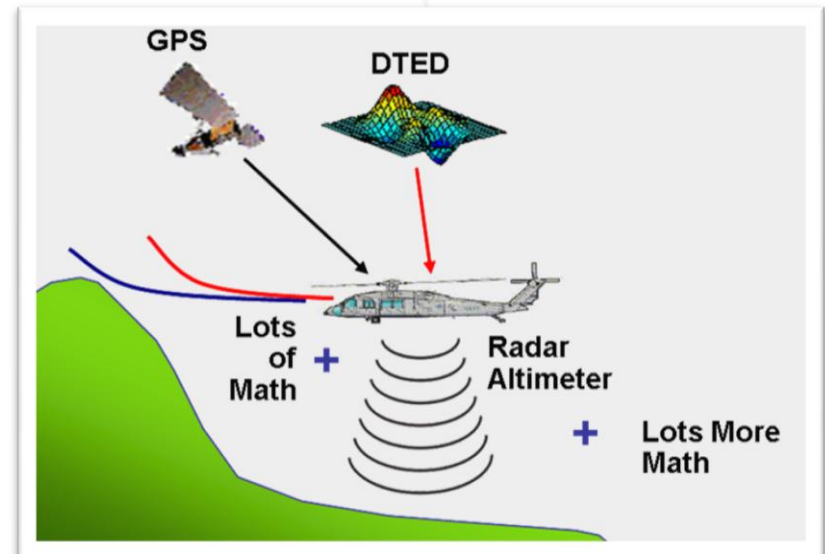
- Le mécanisme de « persévération »
 - [Ravitaillement](#)
 - [Atterrissage avion de chasse](#)



- Ground Proximity Warning System (GPWS)



- Enhanced Ground Proximity Warning System (e-GPWS)



Malgré l'e-GPWS, des CFIT sont encore observés

Pourquoi est-il nécessaire d'améliorer le système d'alarme actuel ?

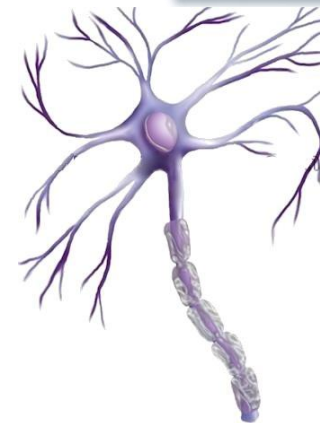
- Les systèmes d'alarme peuvent être rendus inefficaces par un stress débilissant
- Le principe des contremesures



➤ Des contremesures exploitant les propriétés des neurones miroirs



- Par quel moyen ?
 - Activer les neurones miroirs pour inciter la réalisation d'une manœuvre évasive
 - Faire appel à la conscience implicite



Les neurones miroirs et l'IHM : les objectifs

- Amener le pilote à exécuter une action très rapidement
- Sauver des vies...
- Comment activer les neurones miroirs ?
- Neurones communs entre action et observation
 - Utilisation du même moyen
 - But commun
 - Peu importe le résultat
- Montrer une action **logique** pour le pilote



Giacomo Rizzolatti

The mirror neuron system and its function in humans

Published online: 13 October 2005
© Springer-Verlag 2005

Mirror neurons are a particular type of neurons that discharge when an individual performs an action, as well as when he/she observes a similar action done by another individual. Mirror neurons have been described originally in the premotor cortex (area F5) of the monkey. Subsequent studies have shown that they are present also in the monkey inferior parietal lobule (Rizzolatti et al. 2001).

In the human brain, evidence for mirror neurons is indirect, but, although there is no single-neuron study showing the existence of mirror neurons, functional imaging studies revealed activation of the likely homologue of monkey area F5 (area 44 and the adjacent ventral area 6) during action observation (see Rizzolatti and Craighero 2004). Furthermore, magnetoencephalography (Hari et al. 1998) and EEG (Cochin et al. 1999) have shown activation of motor cortex during observation of finger movements. Very recently, alpha rhythm desynchronization in functionally delimited language and hand motor areas was demonstrated during execution and observation of finger movements in a patient with implanted subdural electrodes (Tremblay et al. 2004).

What is the functional role of the mirror neurons? Various hypotheses have advanced: action understanding, imitation, intention understanding, and empathy (see Rizzolatti and Craighero 2004; Gallese et al. 2004). In addition, it has been suggested that mirror-neuron system is the basic neural mechanism from which language developed (Rizzolatti and Arbib 1998).

It is my opinion that the question of which is the function of the mirror neurons or of the mirror-neuron system is ill posed. Mirror neurons do not have a specific functional role. The properties of mirror neurons indicate that primate brain is endowed with a mechanism mapping the pictorial description of actions, carried out

G. Rizzolatti (✉)
Dipartimento di Neuroscienze, Sezione Fisiologia,
Università di Parma, 39 via Volturno, 43100 Parma, Italy
E-mail: giacomo.rizzolatti@unipr.it

in the higher order visual areas onto their motor counterpart. This matching mechanism may underlie a variety of functions, depending on what aspect of the observed action is coded, the species considered, the circuit in which mirror neurons are included, and the connectivity of the mirror-neuron system with other systems.

Let us examine first action understanding, the original hypothesis that has been proposed for explaining the functional role of the mirror system (Gallese et al. 1996; Rizzolatti et al. 1996). It might sound bizarre that in order to recognize an action, one should activate the motor system. As a matter of fact, this is not so strange. A mere visual perception, without involvement of the motor system would only provide a description of the visible aspects of the movements of the agent. It would not give, however, information on the intrinsic components of the observed action, on what means doing it, and of the links of the observed actions with other actions related to it. To put the observed action into a motor semantic network is simply a necessity, if one has to understand what the observed action is really about.

Thus, the activation of the parieto-premotor mirror circuit is fundamental to provide the observer with a real comprehension of the observed action. This “real” action understanding is present in both monkeys and humans. On the top of it, other functions can be built, some of which are present only in humans. One of them is imitation.

Mirror-neuron system provides a motor copy of the observed actions. Thus, it appears to be the ideal mechanism for imitation. Yet, the monkeys that have a mirror system possess this capacity in a very limited form, if they have it at all (Visalberghi and Fragaszy 2001). So is the mirror system involved in imitation and, if this is the case, why monkeys do not use it for imitation?

The answer to the first question is yes. There is clear evidence that, in humans, mirror-neuron system is involved in immediate repetition of actions done by others



The anthropomorphic brain: The mirror neuron system responds to human and robotic actions

V. Gazzola,^a G. Rizzolatti,^b B. Wicker,^c and C. Keysers^{a,*}

^aBCN Neuroimaging Center, University Medical Center Groningen, University of Groningen, A. Deusinglaan 2, 9713AW Groningen, The Netherlands

^bDipartimento di Neuroscienze, Università di Parma, Via Volturno, 43100 Parma, Italy

^cInstitut de Neurosciences Cognitives de la Méditerranée, CNRS, 31, Chemin Joseph Aiguier 13009 Marseille, France

Received 13 November 2006; revised 29 January 2007; accepted 2 February 2007
Available online 13 February 2007

In humans and monkeys the mirror neuron system transforms seen actions into our inner representation of these actions. Here we asked if this system responds also if we see an industrial robot perform similar actions. We localised the motor areas involved in the execution of hand actions, presented the same subjects blocks of movies of humans or robots perform a variety of actions. The mirror system was activated strongly by the sight of both human and robotic actions, with no significant differences between these two agents. Finally we observed that seeing a robot perform a single action repeatedly within a block failed to activate the mirror system. This latter finding suggests that previous studies may have failed to find mirror activations to robotic actions because of the repetitiveness of the presented actions. Our findings suggest that the mirror neuron system could contribute to the understanding of a wider range of actions than previously assumed, and that the goal of an action might be more important for mirror activations than the way in which the action is performed.
© 2007 Elsevier Inc. All rights reserved.

Introduction

Understanding the goals and intentions behind the actions of other individuals is essential for survival and for normal social functioning. The discovery of mirror neurons in the monkey has provided an opportunity to gain insights into the neural basis of this capacity. Mirror neurons in the premotor and parietal cortex of the monkey respond when the monkey executes a particular action, and when it sees or hears someone else perform similar actions (Fogassi et al., 2005; Gallese et al., 1996; Keysers et al., 2003; Kohler et al., 2002; Rizzolatti and Craighero, 2004). A number of laboratories using different methods have shown that a similar system appears to exist in humans (Buccino et al., 2001, 2004a,b; Decety et al., 1997; Fadiga et al., 1995, 2002; Gazzola et al., 2006; Grafton et al., 1996; Grezes et al., 2003; Hari et al., 1998; Iacoboni et al., 1999, 2001; Nishitani and Hari,

2000; Rizzolatti et al., 1996). By linking the actions of others to the observer's corresponding actions, the existence of mirror neurons suggests that our understanding of the actions of others derives from translating them into the vocabulary of our own actions (Gallese et al., 2004; Keysers and Gazzola, 2006; Rizzolatti and Craighero, 2004).

A question that has remained relatively uninvestigated is the visual requirements of the mirror neuron system (MNS). Does the MNS need a tight match between the observed movements and the observer's motor programs to be activated? Or is it enough that the goal that is seen matches goals that are represented within the premotor cortex of the observer? An opportunity to dissociate these two aspects of motor acts is to compare how the brain processes the sight of human motor acts against corresponding acts performed by an industrial robot. 'What' is achieved is the same (e.g. reaching an object) but 'how' it is achieved differs: industrial robots are designed to be simple and efficient. As a result their movements have kinematics that radically differ from those of humans. Measuring brain activity while subjects observe human and robotic hands perform similar actions can shed light into the visual requirements of the MNS: if the activity in the MNS is similar for the different agents, the MNS would primarily match the goal of the robotic action without requiring that the kinematics of the action match. If activity is much reduced in the robotic case, it would require a tight kinematics match.

Although this question sounds simple, results so far have been very contradictory. Tai et al. (2004) scanned volunteers using Positron Emission Tomography while having a human or a robot perform actions in the scanner room in front of the subjects. Stimuli were (a) the experimenter grasping a cylinder 3 times in a row, with the inevitable variability of human grasping and (b) an artificial arm grasping the object three times according to a preprogrammed motion, that was identical in all trials. The authors found that the MNS was activated in (a) but not in (b). From these data, it is impossible to establish whether the differences between (a) and (b) were due to differences between human and robotic kinematics, as argued by the authors, or rather to a difference in action variability. This variability was present in the human case, where movements obviously varied from one trial to another, but absent in the robotic case, where movements were always identical. An fMRI study performed in

* Corresponding author. Fax: +31 50 3638875.

E-mail address: c.keysers@med.umcg.nl (C. Keysers).

Available online on ScienceDirect (www.sciencedirect.com).

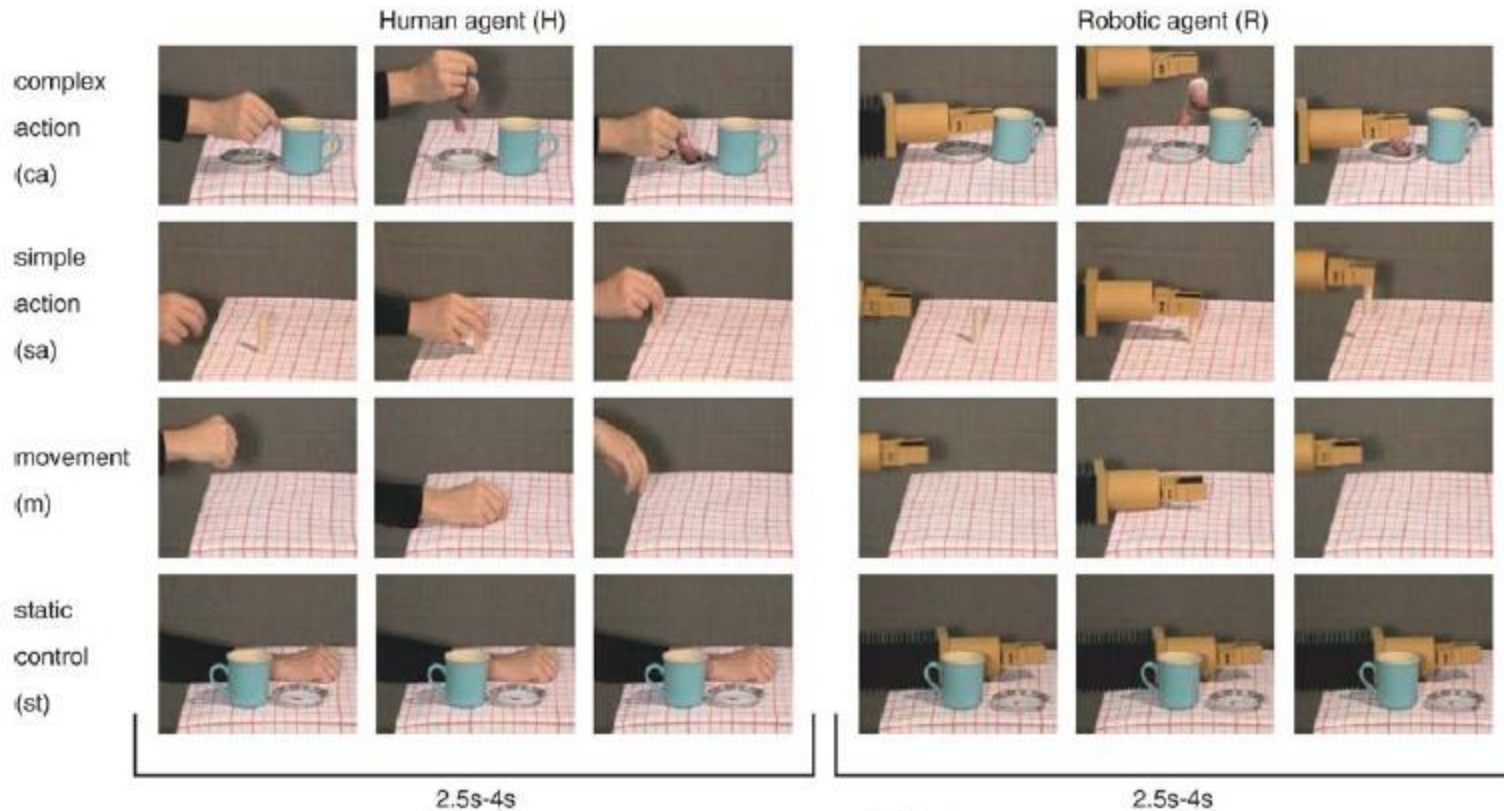


Fig. 1. Illustration of the movies used on day 2. Three snapshots from one of the 6 movie of each category are shown. The name of each condition is composed of the agent followed by the condition as detailed in Table 1. The duration of movies varied from 2.5 to 4 s.

Comment doivent être conçues les contremesures ?

- But : pré-activer les neurones miroirs pour faciliter l'imitation
- Où les placer ?



- Que doivent-elles représenter ?
 - Tirer sur le manche
 - Remettre les gaz
 - ...



- Vidéos mettant en scène :
 - Des personnes réelles
 - Des avatars

Comment doivent être conçues les séquences vidéos ?

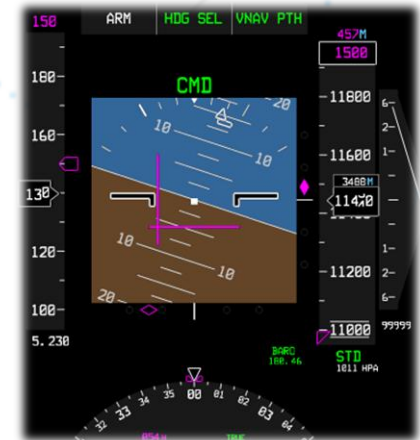
- Impératifs :
 - Courte durée (4-5 s maximum)
 - Vidéos identiques
 - Même moyen, même but que l'action à entreprendre
 - Moyen compréhensible (ex : quelle commande utiliser)
 - Objectif compréhensible (ex : éviter un crash)
- Optimiser le temps de réaction
 - Appel implicite à des tonalités émotionnelles
 - Visages agressifs, même très brièvement exposés, capte davantage l'attention qu'un visage neutre

Comment doivent être conçus les pictogrammes ?

- Où les placer ?
 - Dans le champ de vision du pilote : sur le PFD
 - Sans obstruer les informations du PFD !

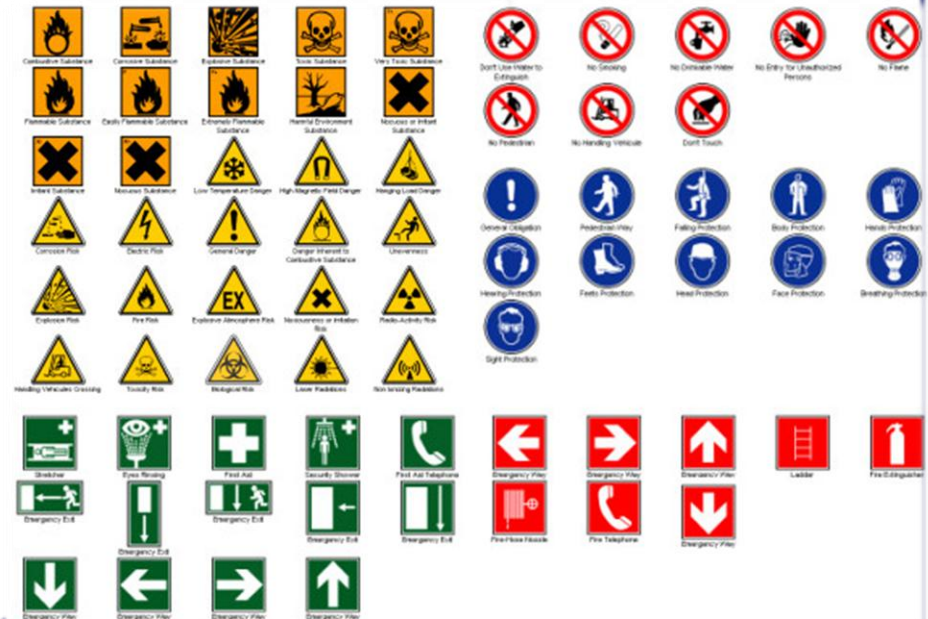
- Quel matériel ?
 - Pictogrammes
 - Avatar
 - Avatars émotionnels
 - Affichage subliminal

- Comparaison avec l'alarme « PULL UP »



Comment doivent être conçus les pictogrammes?

- Difficulté de communiquer l'urgence !
- **Capter l'attention** de l'opérateur
 - Flash, code couleur d'urgence
- Un vecteur d'information universel
 - L'information est rapide et précise
 - Déjà très employés dans l'automobile

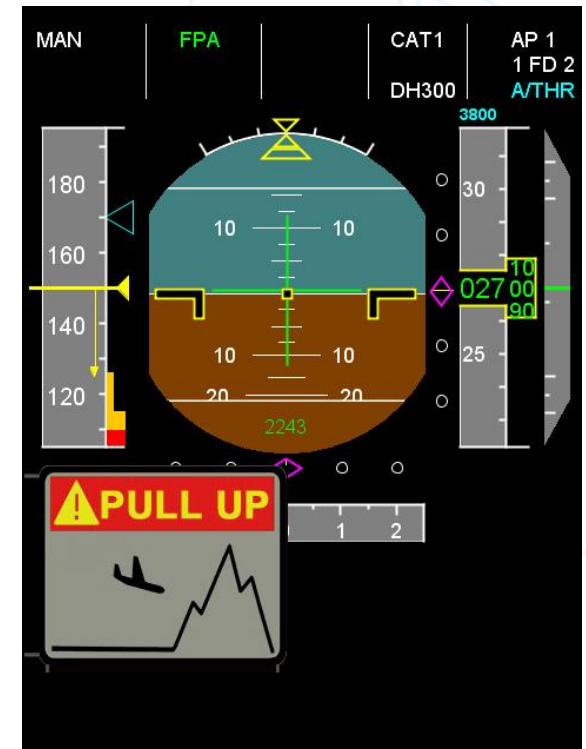
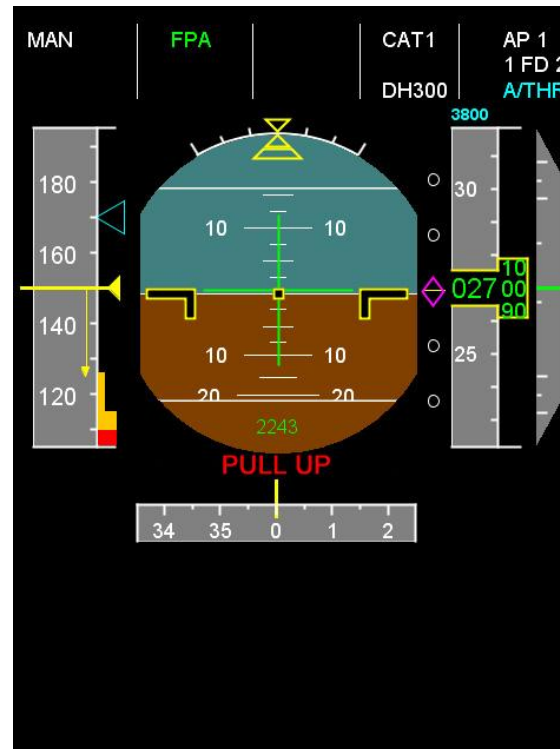
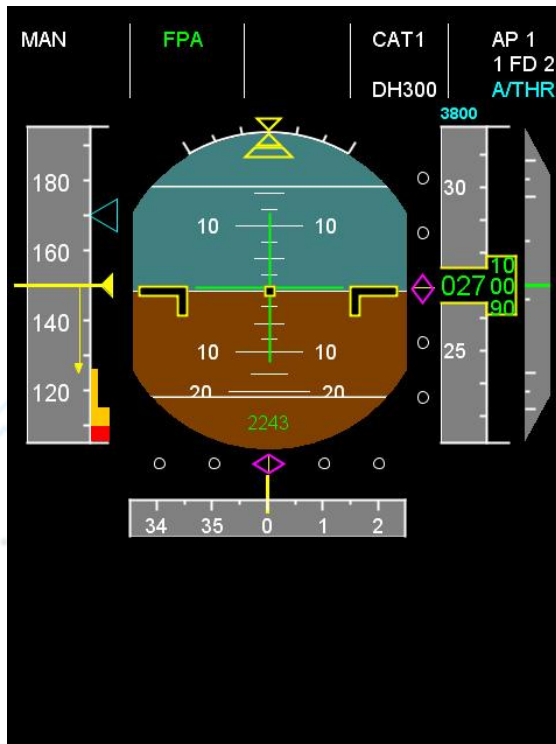


Matériel et méthode

- Expérimentation **préliminaire** : 3 pilotes
- Les contremesures testées :
 - Message textuel « PULL-UP » sur le PFD
 - Vidéo [pictogramme](#)
 - Vidéo pictogramme avec [image subliminale](#)
 - Vidéo avatar avec séquence de crash, [pilote neutre](#)
 - Vidéo avatar avec séquence de crash, [pilote émotionné](#)
- 10 Scénarii d'atterrissages (avec et sans contremesures)
 - Hauteur initiale : 2500ft / Vitesse à maintenir de 130kts
- Conditions **difficiles** :
 - Vent
 - Pluie
 - Plusieurs couches nuageuses
 - Visibilité à 6km
- Comparaison des temps de réaction
- Debriefing pour mesures qualitatives

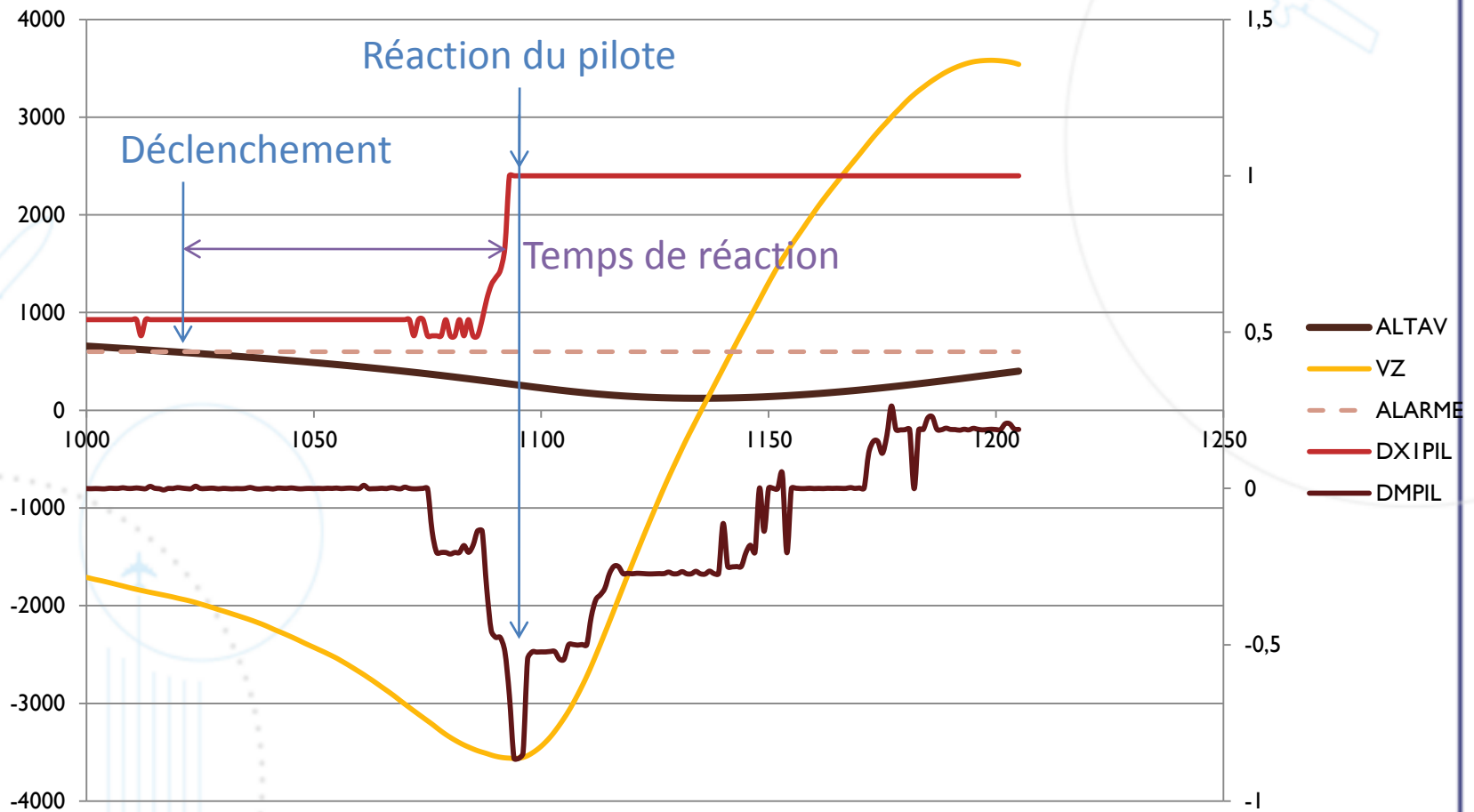
Protocole expérimental

- PFD



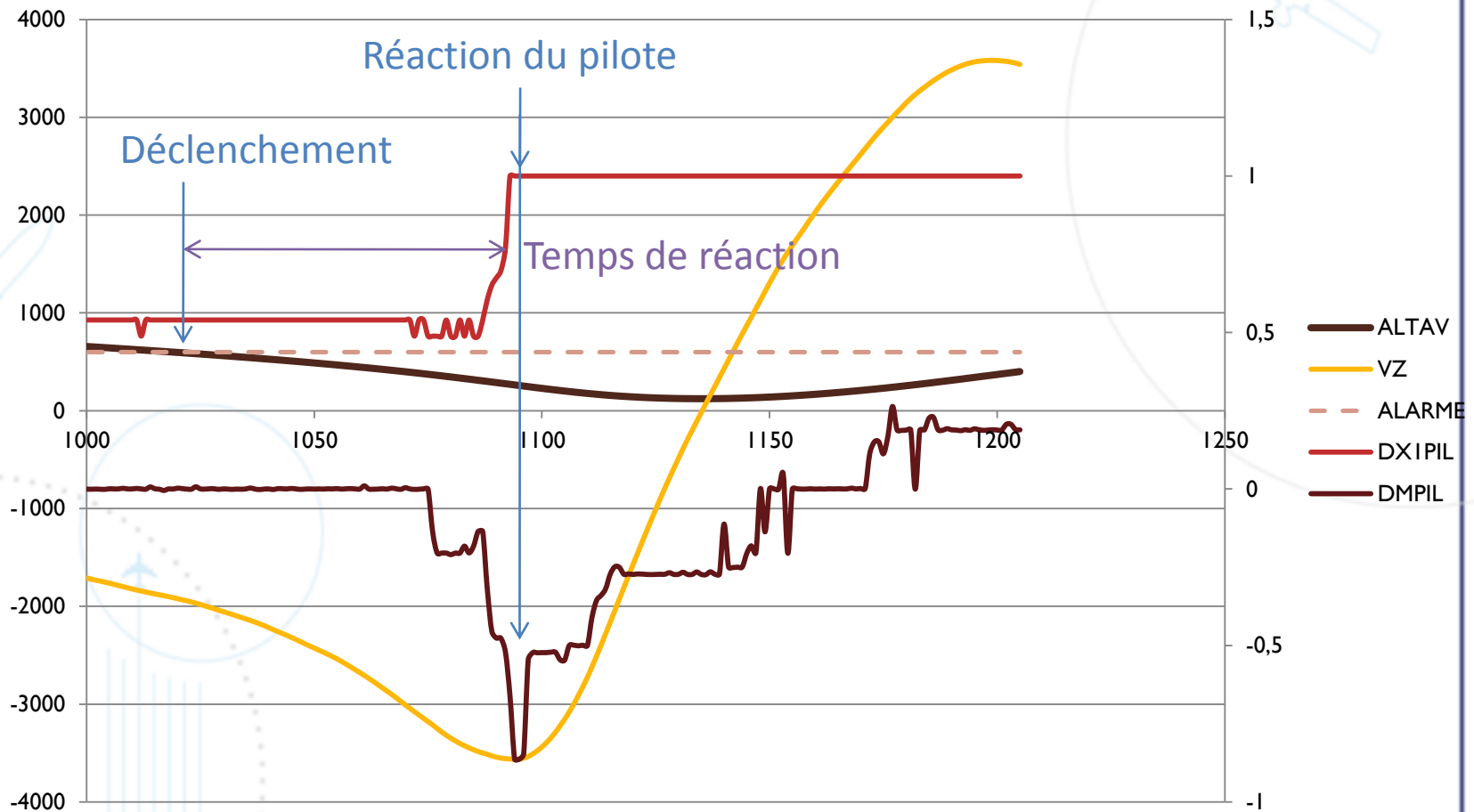
Matériel et méthodes

- Calcul du temps de réaction : action à cabrer



Matériel et méthodes

- Calcul du temps de réaction : action à cabrer



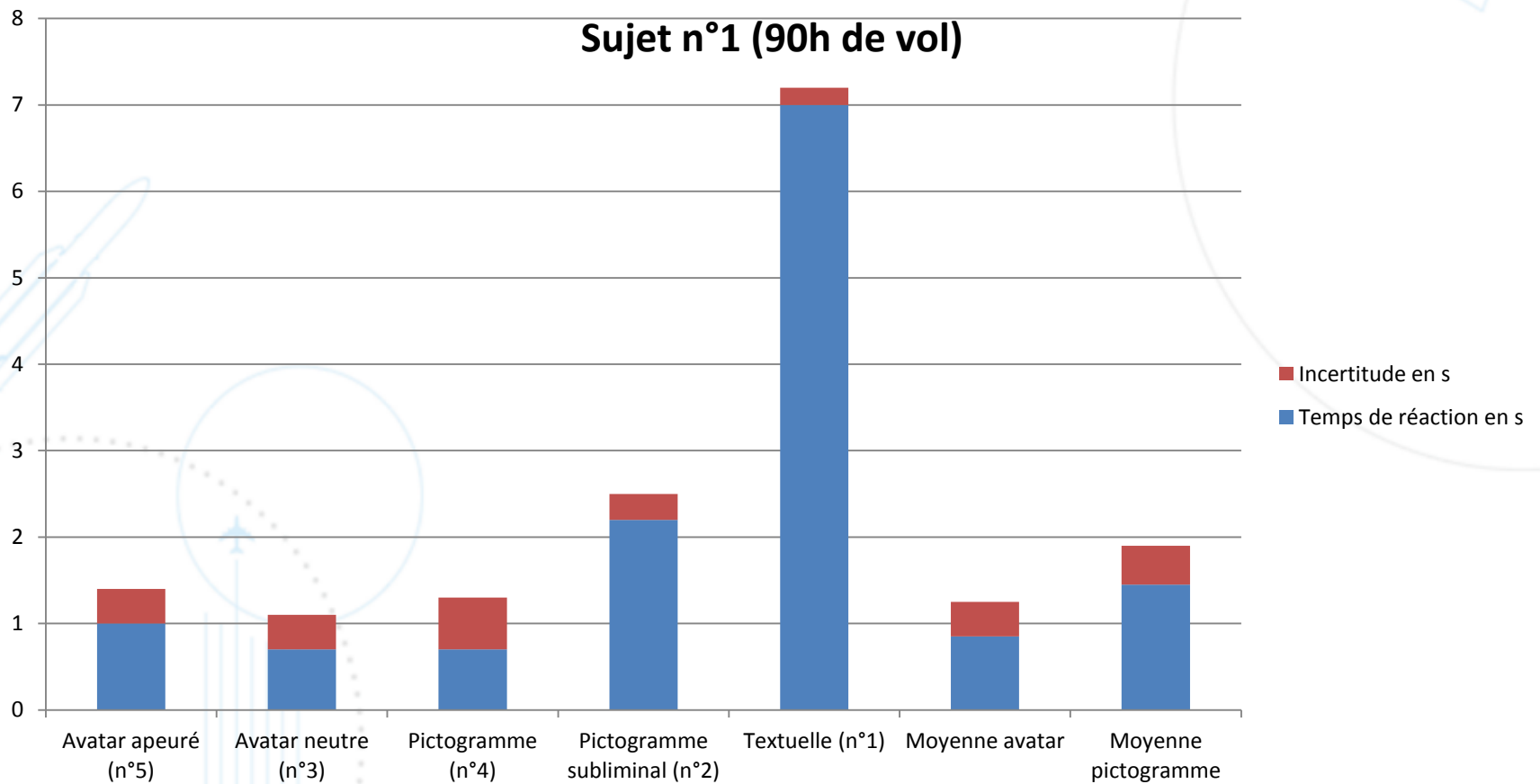
Matériel et méthode

- Réalisation d'une tâche secondaire



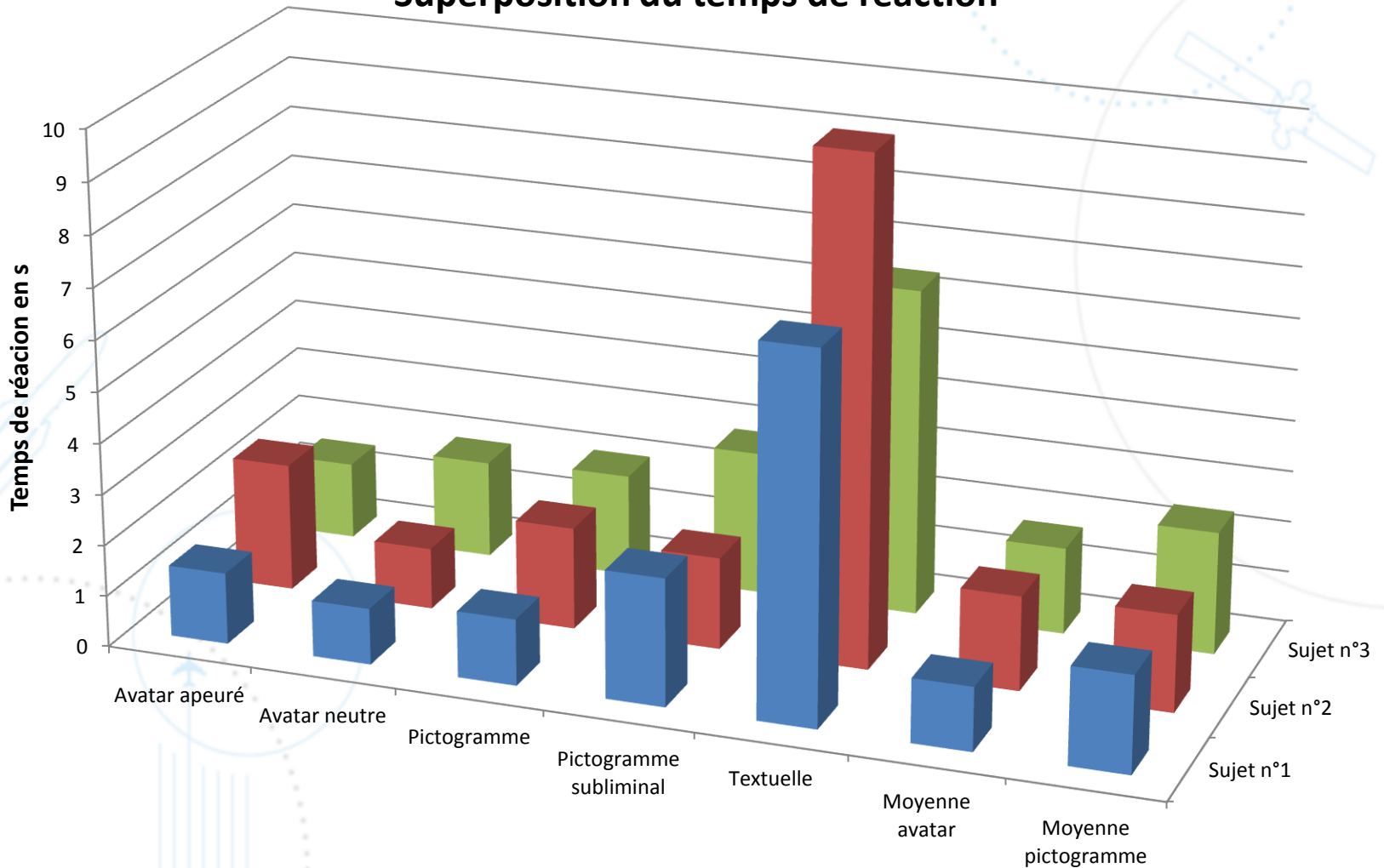
Résultats

■ Exemple de résultats pour un participant



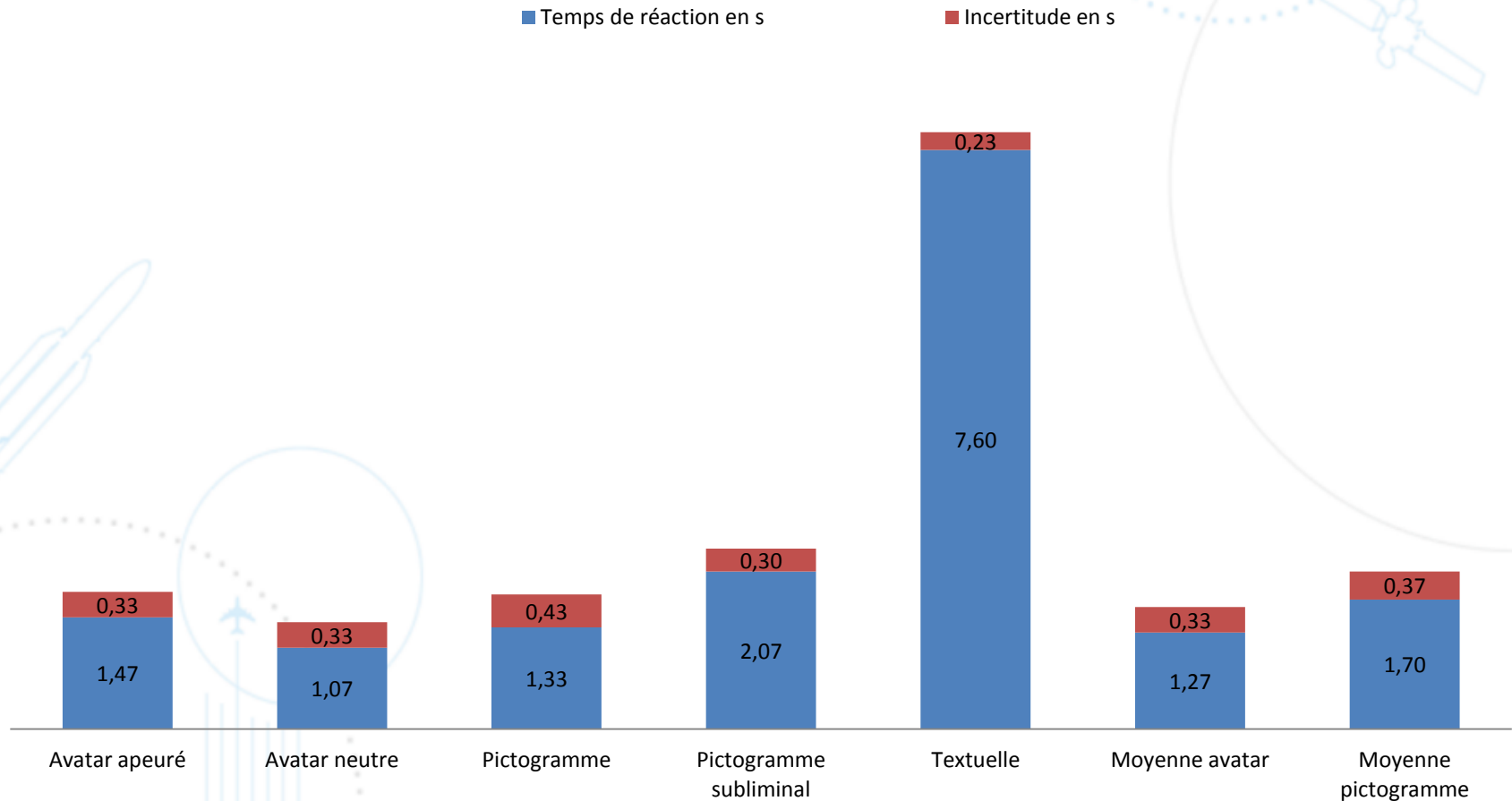
Résultats

Superposition du temps de réaction



Résultats

Moyenne des temps de réaction sur 3 expériences



Discussion

- Aucun pilote n'a poursuivi l'atterrissage à son terme
- Scénario d'atterrissage court
- Absence de stress important
- 3 contremesures / 5 identifiées
- Alarme « PULL UP » classique la moins efficace
- Pictogrammes et avatars efficaces
 - A confirmer sur un échantillon plus important

➤ Cockpits du futur



La simulation en aéronautique

Plan du cours

■ Introduction

- Un peu d'histoire
- Le simulateur de l'ISAE

■ Quelques recherches

- Etudes sur simulateur pc
- Etudes en simulateur sur vérin
- Etudes en vol réel

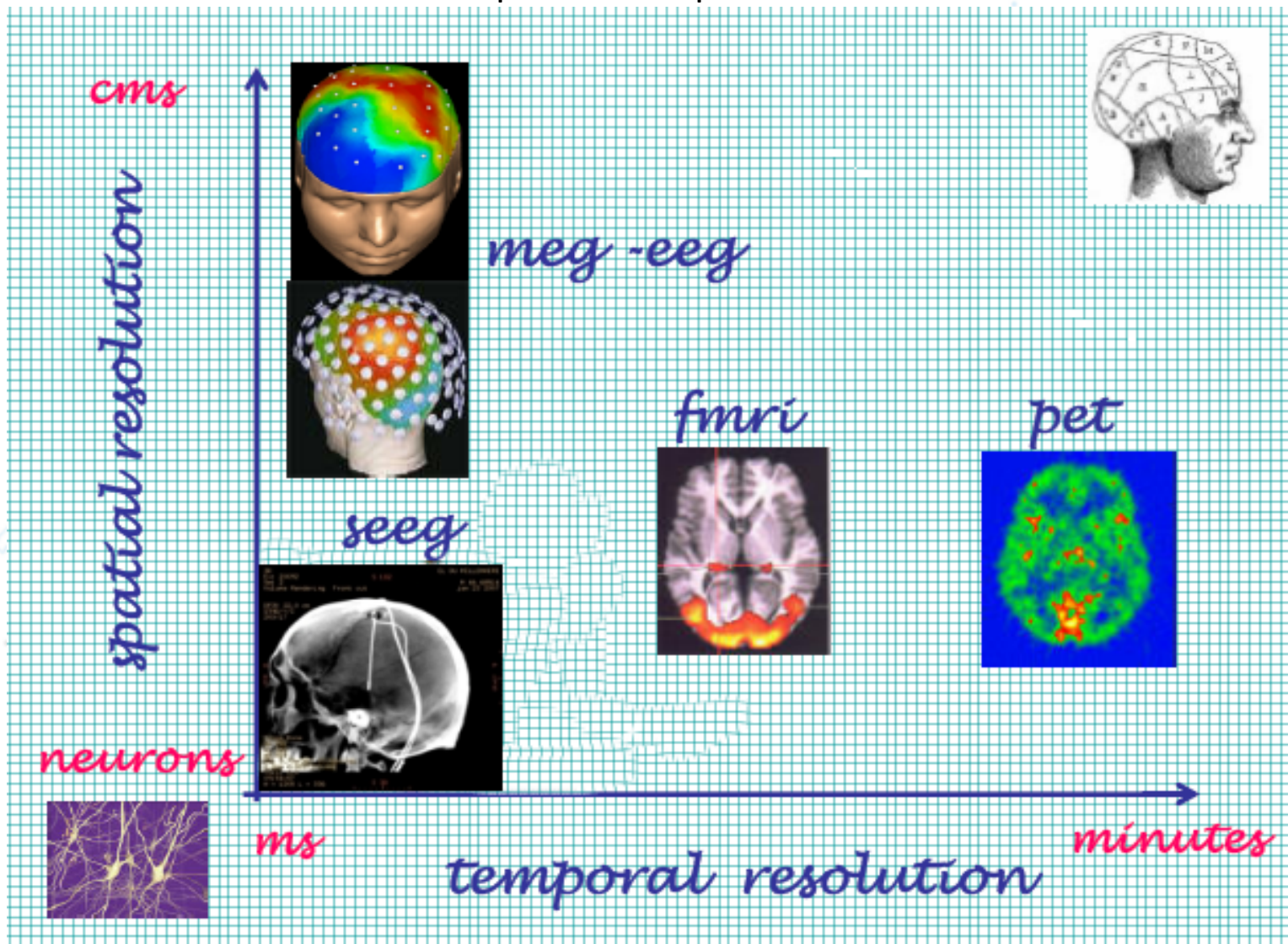
■ La neuroergonomie

- Intérêts de l'approche
- Etude sur les neurones miroirs
- Etude en neuroimagerie



Observation du cerveau en fonctionnement

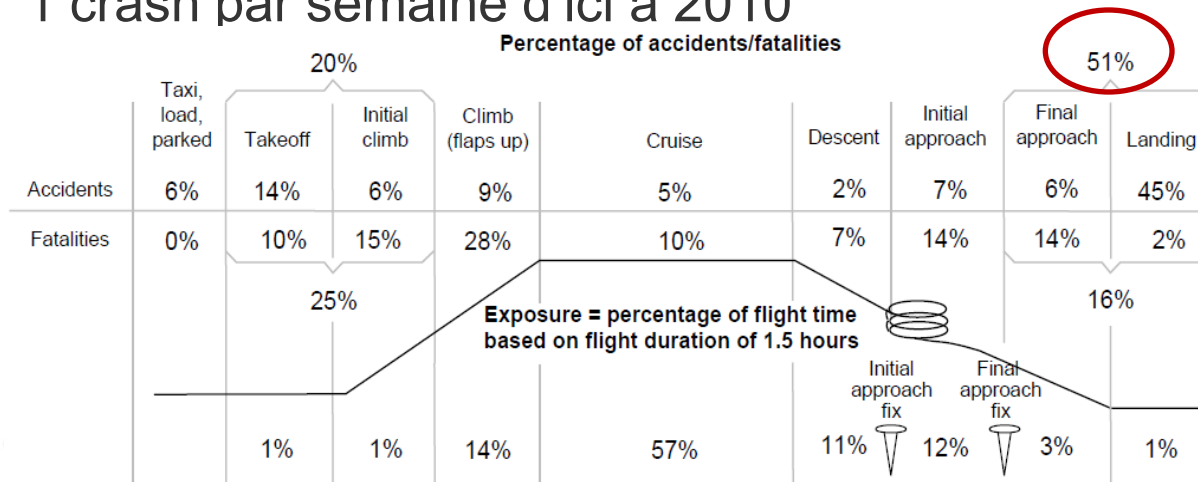
Différentes résolutions temporelles et spatiales



Facteur humain en aéronautique

- 70% des crash dus au facteur humain (O'Hare 1994; Wiegmann 1999)
 - Ex. Crash du mont saint Odile (3300 p/m au lieu de 3.3 deg : vs et non FPA)

1 crash par semaine d'ici à 2010



a



b



c



d



e

→ Différents facteurs émotionnels

- Facteurs psychologiques : un “échec”
- Haute incertitude génératrice de stress (situation dégradée)
- Conflits entre la sécurité et la rentabilité

[747 Japan Airline](#)

[A320 lufthansa](#)

Facteur humain en aéronautique

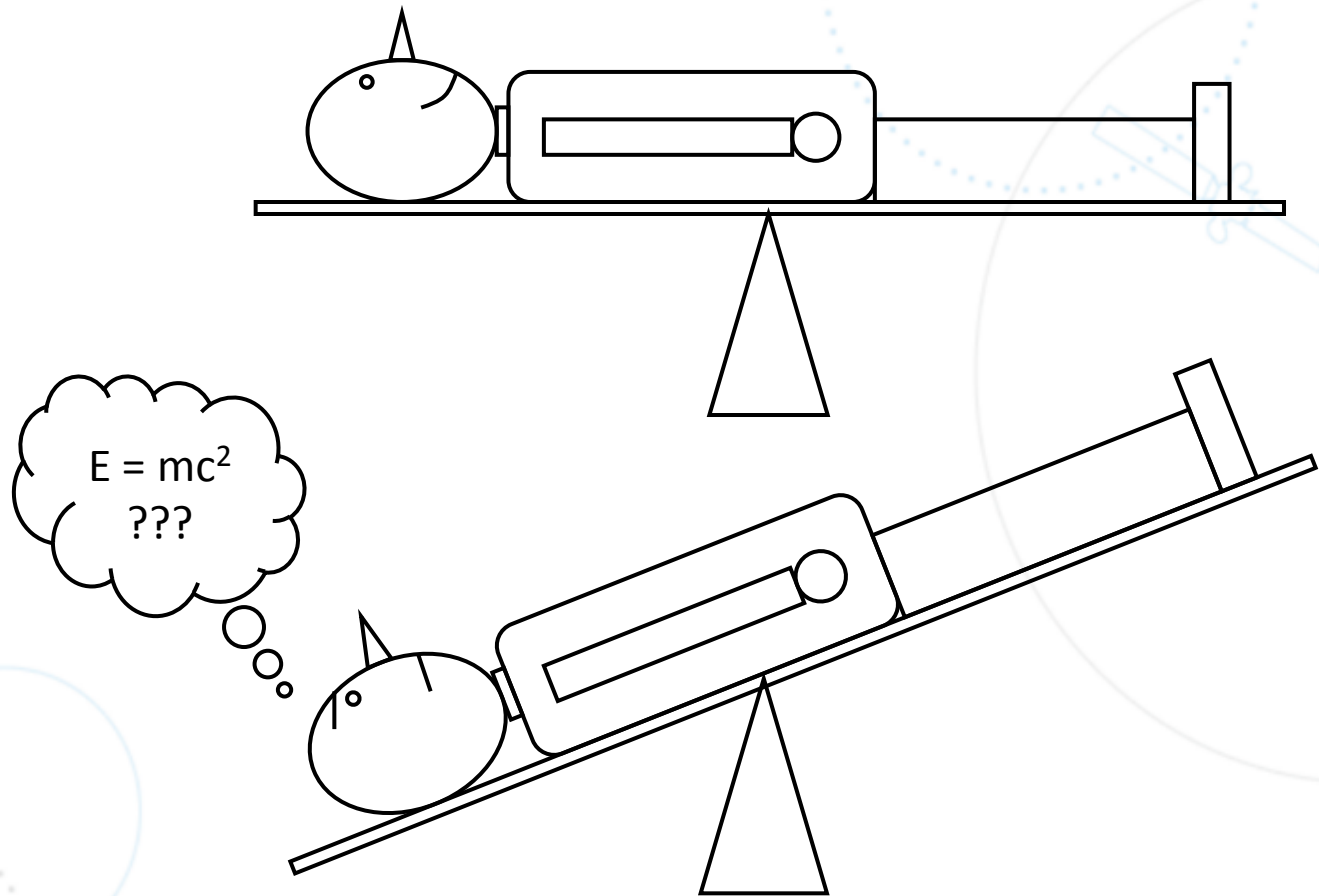


1ere expérience d'observation du cerveau en fonctionnement

(Et probablement la moins coûteuse)



Angelo Mosso
Italian physiologist
(1846-1910)

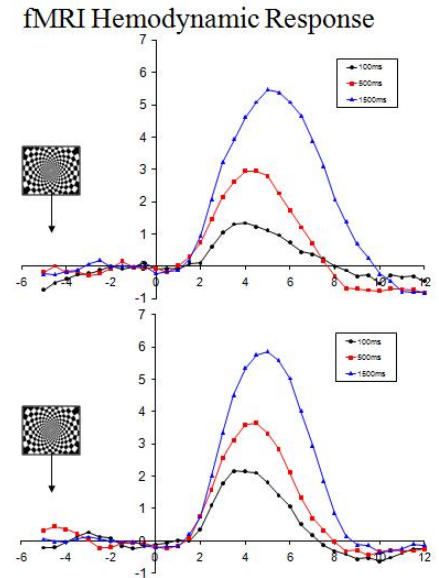
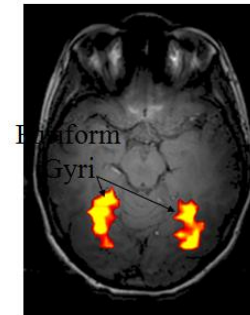
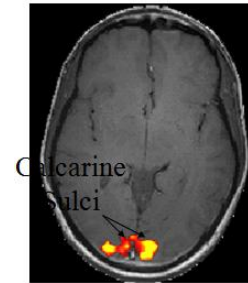


“Dans l’expérience de Mosso, le sujet est placé sur une balance très sensible. À l’instant d’un ressenti émotionnel ou d’une activité intellectuelle, la balance bascule, résultat de la redistribution du flux sanguin”

-- William James, *Principles of Psychology* (1890)

L'IRMf, exploitation de l'effet Bold (Blood Oxygen Level Dependent)

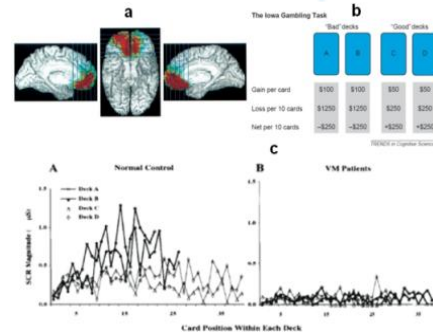
Recrutement d'aires spécifiques à une activité
Variation locale de la susceptibilité magnétique



Bonne résolution temporelle et spatiale, enregistrement différé de l'activité
Cout très élevé

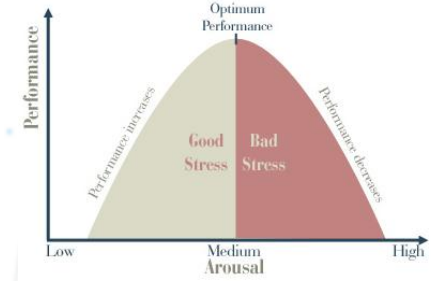
Relation entre émotion et cognition

- Pleine intégration de l'émotion / du stress dans les processus cognitifs



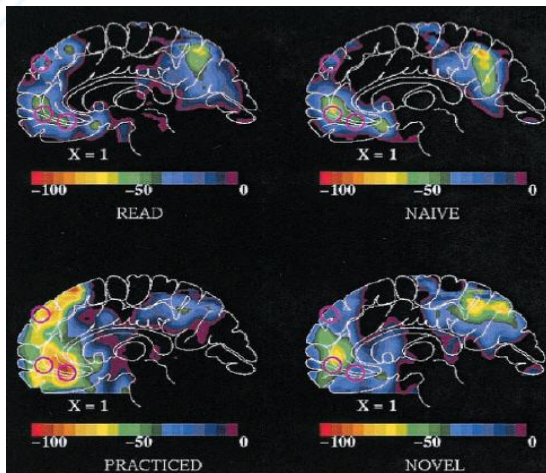
Damasio (1994) ; Bechara (2000, 2005)

➤ Un certain équilibre?

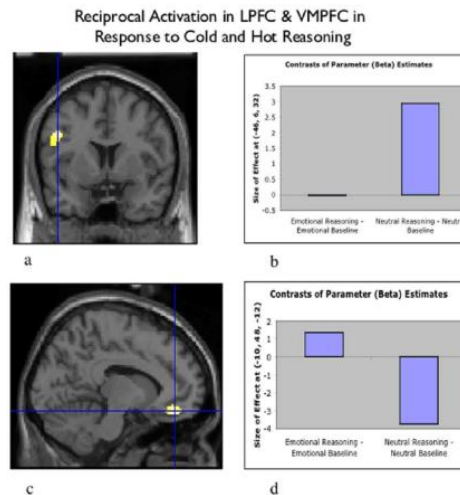


Yerkes & Dodson (1908)

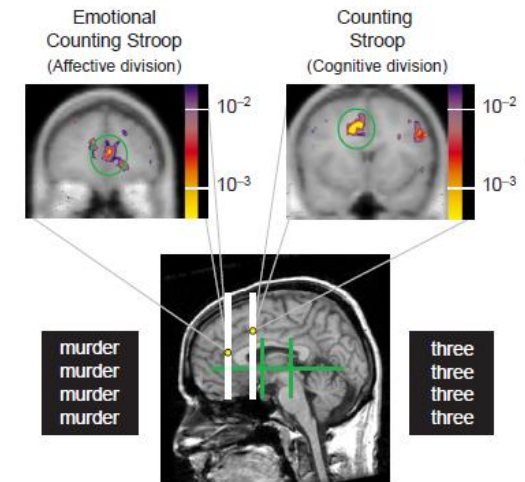
- Une relation encore partiellement comprise
 - Ex : émotion positive bénéfique (Isen, 2004) et délétère (Phillips et al., 2002)
 - Caractéristiques de la tâche (Causse et al., 2009)
- Relation dynamique entre régions *cognitives* et *émotionnelles*



Simpson et al. (2000)



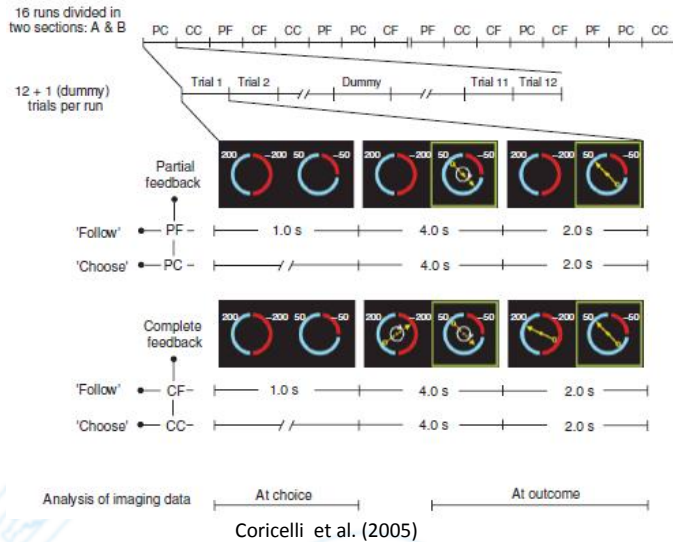
Goel & Dolan (2003)



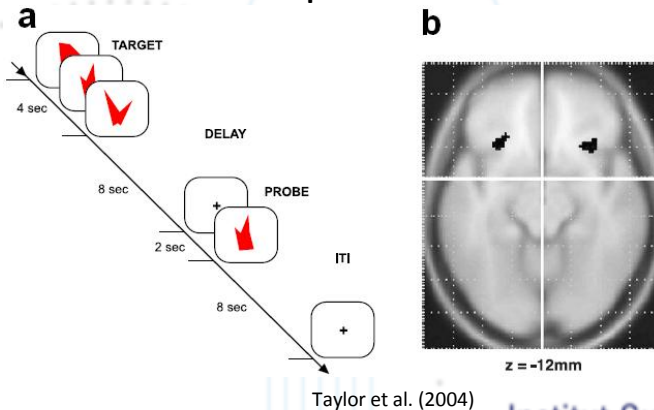
Bush et al. (2000)

La neuroéconomie

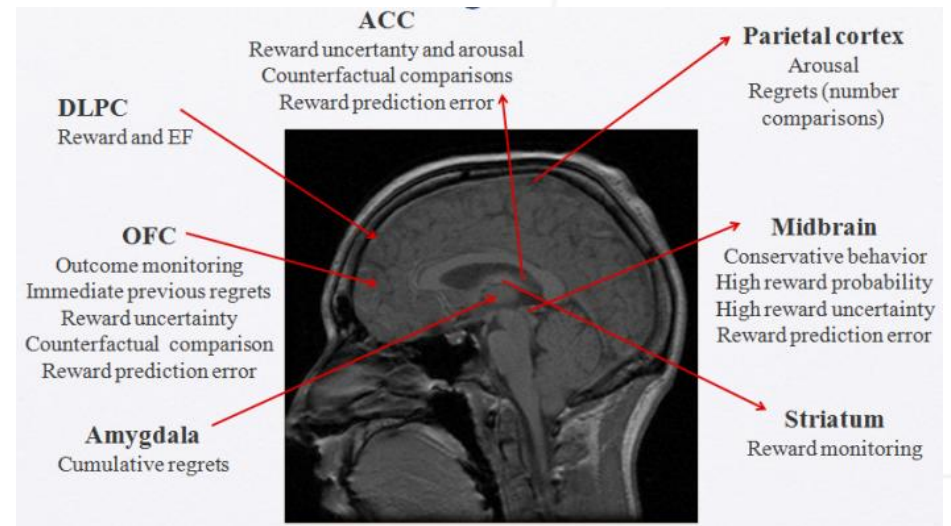
- Des protocoles multi-évenementiels manipulant la récompense / l'incertitude



- Étude de la prise de décision



- Régions cérébrales impliquées dans les émotions et la cognition



Le continuum cognitif

- Similitudes de troubles rencontrés chez des patients cérébrolésés

Syndrome dysexécutif

- Aboulie
- Stéréotypie
- Rigidité mentale/persévération

Fixation error (Sarter & Woods 1994)

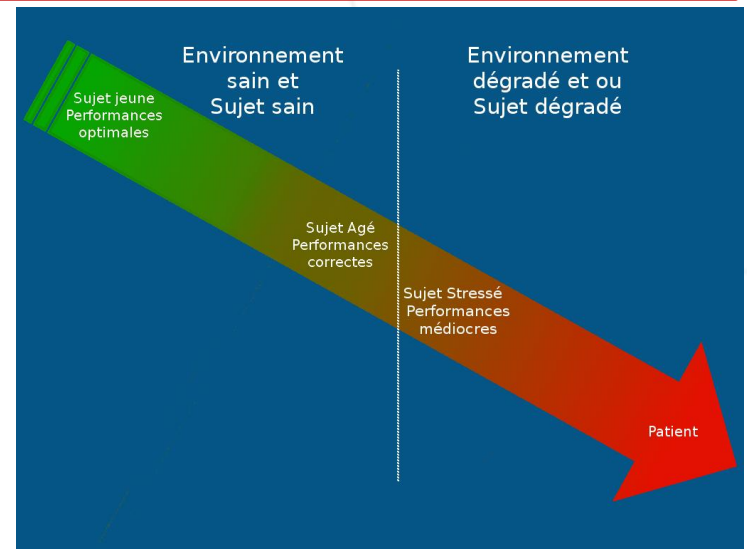
- Incapacité décisionnelle
- Répétition d'actions non pertinentes
- Incapacité à s'adapter

- Opérateurs fatigués, stressés :
 - Trouble exécutif temporaire
- Opérateurs âgés :
 - Trouble exécutif définitif ?

Hypothèse du continuum cognitif (Pastor 1999)



Anticiper les erreurs / Trouver des invariants



La neuroergonomie

- Outils des neurosciences / préoccupations pragmatiques
- Définition de cockpits *neuropsychologiquement compatibles* (Previc, 2000)
- Pilotage et IRMf (Peres et al., 2000)
- Conduite automobile
 - Parkinson (Uc & Rizzo, 2005)
 - En neuroimagerie (Calhoun et al., 2005)
- Pharmacologie : effets d'inhibiteurs de l'acétylcholinestérase (Yesavage et al., 2002)
- Contremesures (Dehais et al., 2003)
- EEG embarquables : adaptation de la charge mentale (Dixon et al., 2009)
- Fertilisation croisée

Peres 2000



Dixon 2009



Plus appliqué : IRMf, experience de vol et pilotage

Parler des différentes études répertoriées dans
papier neuroeco (pilotage et irmf)

Plus appliqué : fNIR et pilotage d'UAV

Menda 2011. *J Intell Robot Syst*

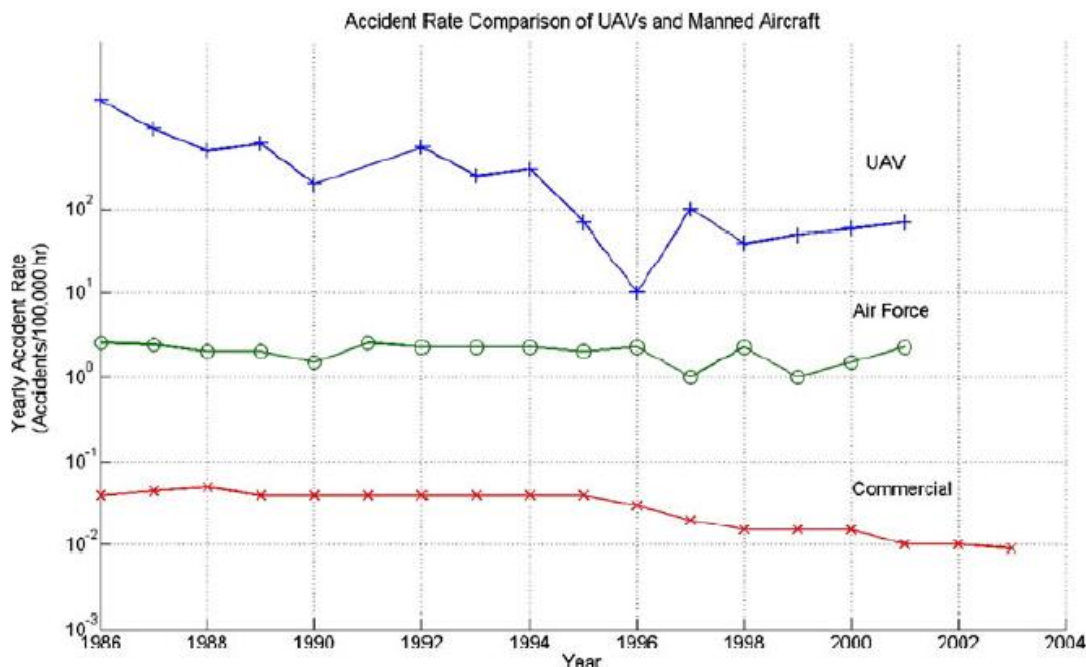


Fig. 1 Accident rate of UAVs compared with manned aircraft. Data recreated from [7]

- D'avantage d'accident en UAV qu'en vol habité
- Nécessité d'adresser la question de la sécurité et de la performance
- Erreur humaine prépondérante : systèmes de plus en plus fiables
 - Question centrale de la charge de travail

Plus appliqué : fNIR et pilotage d'UAV

- Avantage de l'utilisation de l'imagerie cérébrale :
- Monitoring objectif et continu de la charge cognitive de l'opérateur
- Aide à la sélection et à l'entraînement des pilotes ou à la conception d'interfaces et d'autres technologies

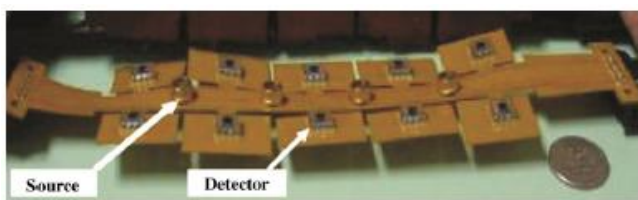


Fig. 3 Subject operating the Predator UAV simulator with fNIR sensor attached and data acquisition apparatus on far right

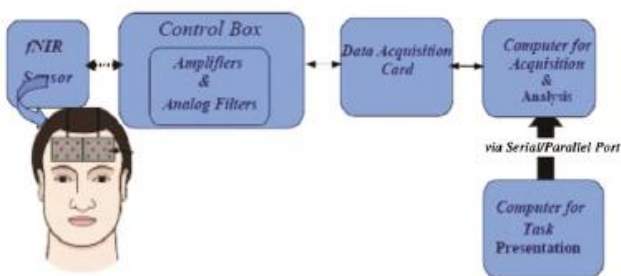


Fig. 2 Bottom Block diagram of the fNIR sensor system. Top flexible sensor housing containing 4 LED sources and 10 photodetectors. Reprinted from [13]

- Scénario de recherche d'un sous marin le long d'une côte
 - Comparaison avant et après découverte du sous-marin

Plus appliqué : fNIR et pilotage d'UAV



Plus appliqué : fNIR et pilotage d'UAV

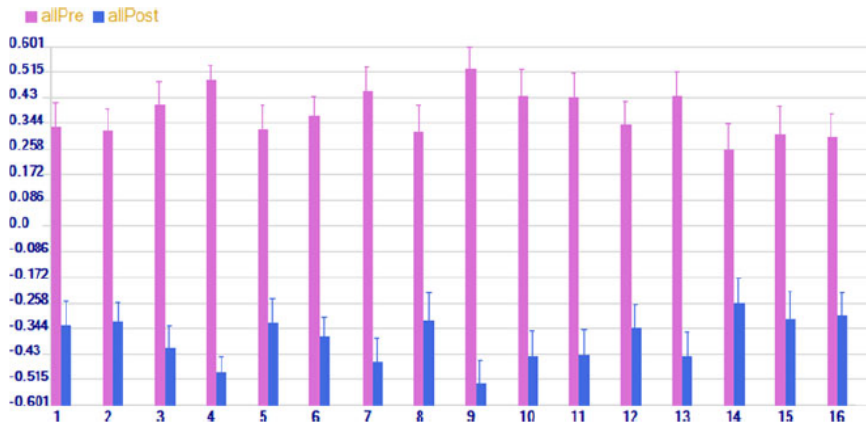


Fig. 5 Normalized average HbT in all 16 voxels from 5 subjects in the target search task. *Pink* represents average HbT in the 100 s before reported target sighting; *blue* represents the same measure for 100 s after reported target sighting

Fig. 6 Average normalized HbT values for voxel 4 before and after submarine sighting with standard error bars

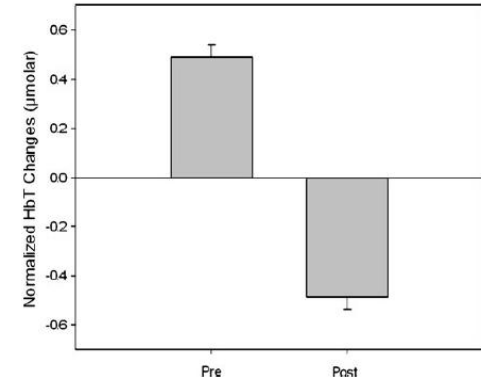
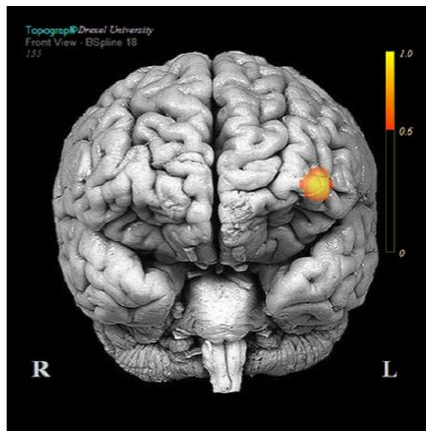


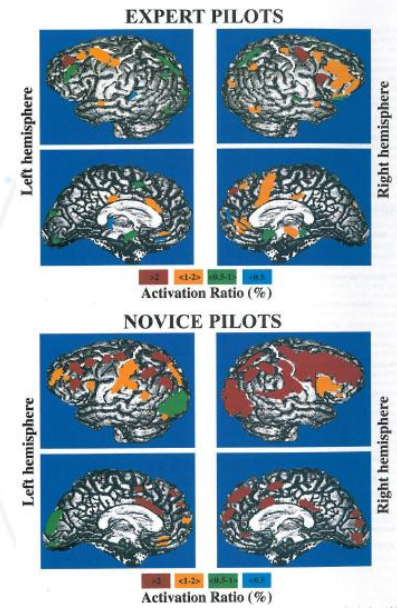
Fig. 7 Location of voxel 4 on the brain surface



DLPFC : Charge de travail ++
Résultats préliminaires encourageants !

Plus appliqué : IRMf, expérience de vol et pilotage

Pérès et al. 2000. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*



Tâche simulateur de pilotage (suivi de trajectoire), 2 niveaux de difficultés

Pour les 2 groupes : gyrus cingulaire antérieur pour tâche difficile

Comparaison de groupes

Experts : activations antérieures : thalamus, cp ventromédian. Attention sélective, planification, recherche de stratégie en mémoire à long terme

Novice : activations diffuses et posterieures : cortex occipital, cortex pariétal.

Stratégies spatiales, visuelles

Plus appliqué : fNIR et pilotage d'UAV

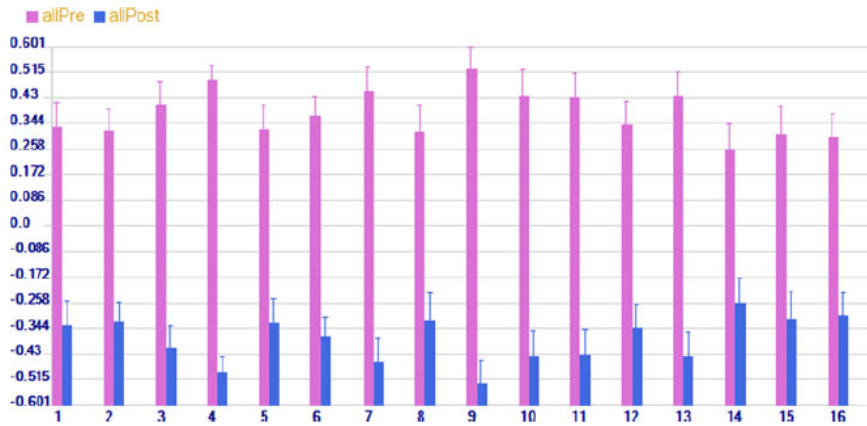


Fig. 5 Normalized average HbT in all 16 voxels from 5 subjects in the target search task. *Pink* represents average HbT in the 100 s before reported target sighting; *blue* represents the same measure for 100 s after reported target sighting

Fig. 6 Average normalized HbT values for voxel 4 before and after submarine sighting with standard error bars

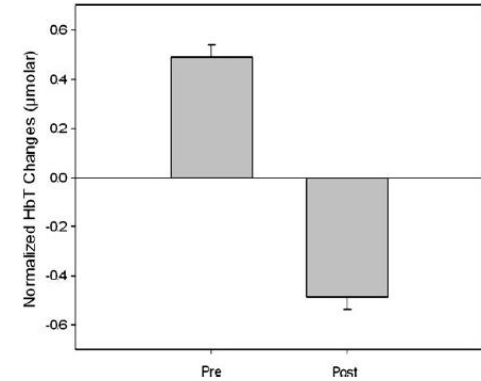
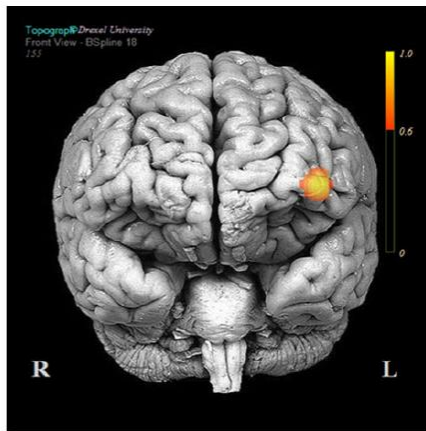


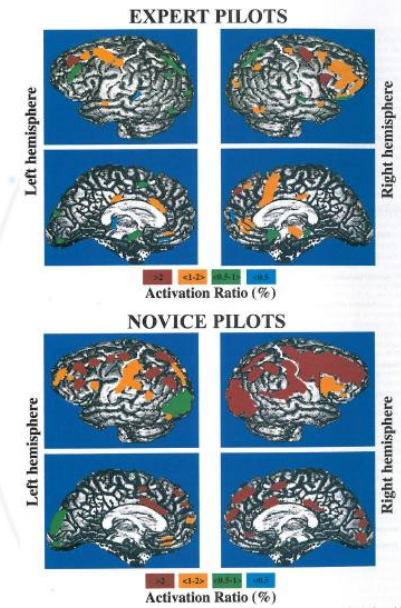
Fig. 7 Location of voxel 4 on the brain surface



DLPFC : Charge de travail ++
Résultats préliminaires encourageants !

Plus appliqué : IRMf, expérience de vol et pilotage

Pérès et al. 2000. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*



Tâche simulateur de pilotage (suivi de trajectoire), 2 niveaux de difficultés

Pour les 2 groupes : gyrus cingulaire antérieur pour tâche difficile

Comparaison de groupes

Experts : activations antérieures : thalamus, cp ventromédian. Attention sélective, planification, recherche de stratégie en mémoire à long terme

Novice : activations diffuses et posterieures : cortex occipital, cortex pariétal.

Stratégies spatiales, visuelles

La simulation en aéronautique

Plan du cours

■ Introduction

- Un peu d'histoire
- Le simulateur de l'ISAE

■ Quelques recherches

- Etudes sur simulateur pc
- Etudes en simulateur sur vérin
- Etudes en vol réel

■ La neuroergonomie

- Intérêts de l'approche
- Etude sur les neurones miroirs
- Etude en neuroimagerie



La simulation en aéronautique

Plan du cours

- Introduction
 - Un peu d'histoire
 - Le simulateur de l'ISAE
- Quelques recherches
 - Etudes sur simulateur pc
 - Etudes en simulateur sur vérin
 - Etudes en vol réel
- **La neuroergonomie**
 - Intérêts de l'approche
 - Etude sur les neurones miroirs
 - Etude en neuroimagerie



Récompense & atterrissage : IRMf



Inserm

Institut national
de la santé et de la recherche médicale



Isae

Institut Supérieur de l'Aéronautique et de l'Espace



FONDAZIONE SANTA LUCIA

ISTITUTO DI RICOVERO E CURA
A CARATTERE SCIENTIFICO

MIT

School of Engineering

Cause, M., Dehais, F., Peran, P., Demonet, J., Sabatini, U., Pastor, J. Neural correlates of uncertain and monetary biased decision making. *Neuroimage*. En soumission.

Objectifs

- 1) Étudier l'influence de la récompense et de l'incertitude sur la prise de décision dans une situation aéronautique
- 2) Déterminer les réseaux cérébraux impliqués dans ce basculement entre prise de décision *à froid*/prise de décision *à chaud*.

Introduction

De l'avion au laboratoire

Environnement réel



Environnement expérimental



De l'avion au laboratoire

- **Tâche très simple** mais fournit des éléments pertinents sur la performance des processus de prises de décisions en aéronautique
 - ex. Wiggins et al. 1995. *Journal of Experimental Psychology: Applied*
- Réalisation de scénario aéronautique (prise de décision liée à la météo) simple comportant les informations classiques d'un vol VFR
- Mesure du nombre de séquence réalisée en fonction de l'expérience
- 40 participants (âge 18-67)
 - Classés dans 3 catégories différentes en fonction de leur expérience de vol

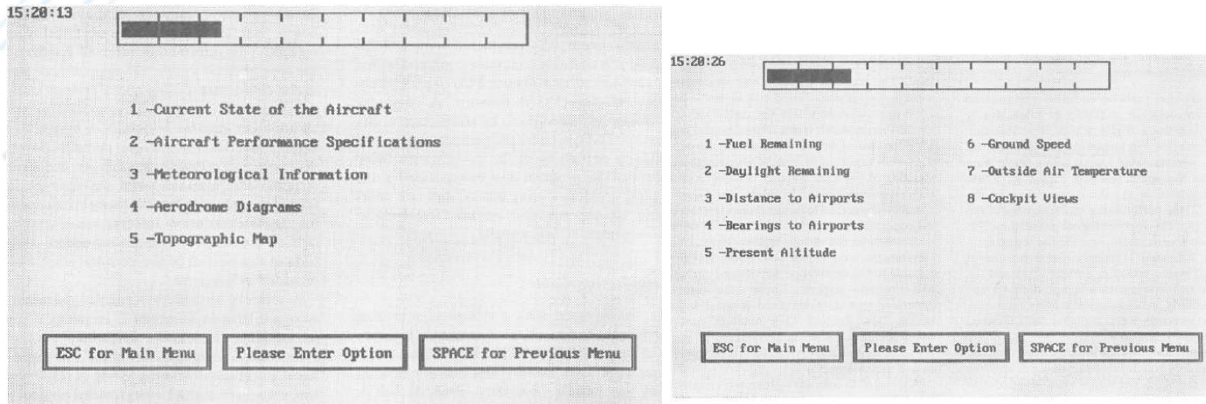


Figure 1. (top) The main menu and (bottom) the submenu for current state of the aircraft. Time elapsed is indicated by the horizontal bar at the top of the screen. ESC = escape.

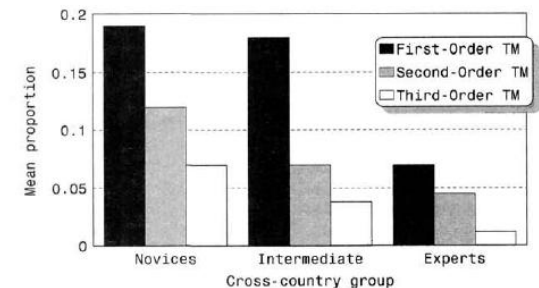


Figure 2. Mean proportion of the sequences of information screens accessed from the same category for first-order, second-order, and third-order transition matrices (TM).

Matériel et méthodes

Participants

- 6 Participants
- Langue italienne
- Latéralisés à droite (Oldfield)
- Absence de trouble neurologique / psychiatrique
- Motivation financière

Matériel et méthodes

Stimuli

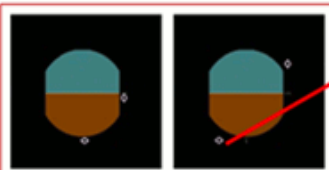
- Manipulation du niveau d'incertitude (faible/élevé)

High uncertainty

Low uncertainty



50 % (10-19)



100 % (0-9) 0 % (20-29)



- Manipulation du type de motivation (neutre/financier)

Without financial incentive

With financial incentive



- Matrice de paiement biaisée

	Situation	GO	GO-A
Décision			
GO		+5	-2
GO-A		-5	-2

De l'avion au laboratoire

- **Incitation financière peut paraître incongrue** mais fournit des éléments pertinents sur l'évaluation de la prise de risque en aéronautique
 - ex. O'hare et al. 1995. *The International Journal Of Aviation Psychology*
- Prise de décision aéronautique liée à la météo
- Etude de l'influence du type d'encodage lors du processus de prise de décision (perte ou gain)
- Aversion au risque, que choisissez vous ? :
 - Ex. sûr de gagner 80€ ou 85% de chance de gagner 100€ (15% des cas : rien)
- ... mais le comportement s'inverse si on retourne le signe
 - Sûr de perdre 80 € ou 85% de chance de perdre 100 € (15% des cas : rien)
- L'aversion au risque existe face à la perspective de gains possibles.
 - Face à la perspective de perte, la prise de risque apparaît fortement

De l'avion au laboratoire

- Si les pilotes conceptualisent leurs décisions de continuer ou non dans une météo dégradée en terme de pertes potentielles (perte de temps, d'argent, de carburant...) ils devraient démontrer des décisions risquées
- À l'inverse, si les pilotes conceptualisent leurs décisions de continuer ou non dans une météo dégradée en terme de gains potentiels (assure la sécurité de l'appareil et de tous ses occupants) ils devraient démontrer une aversion au risque

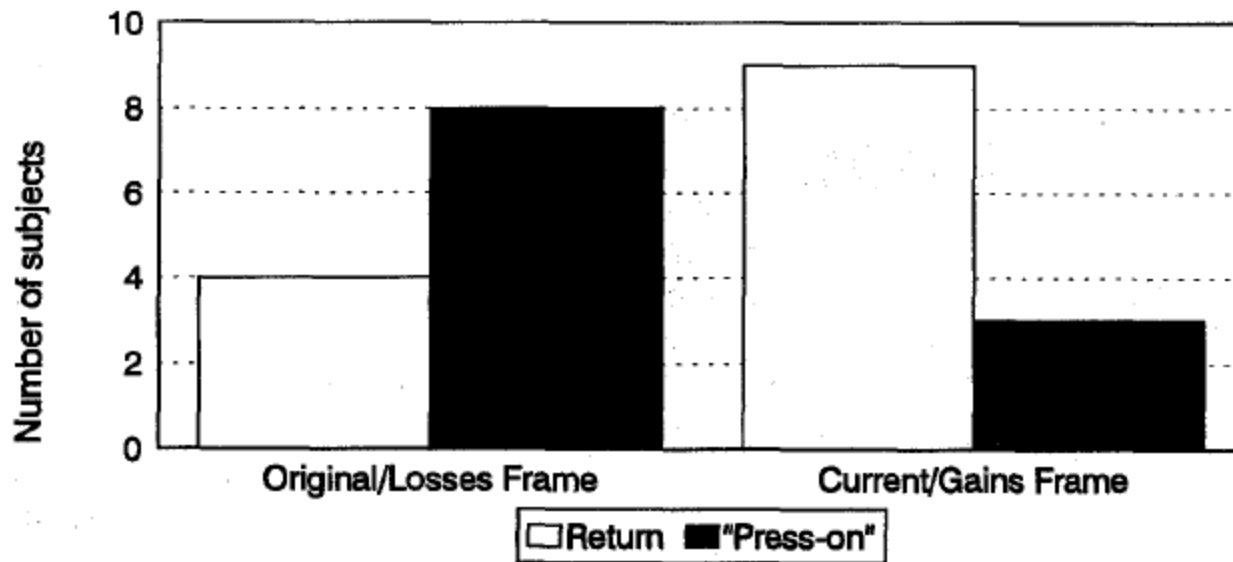
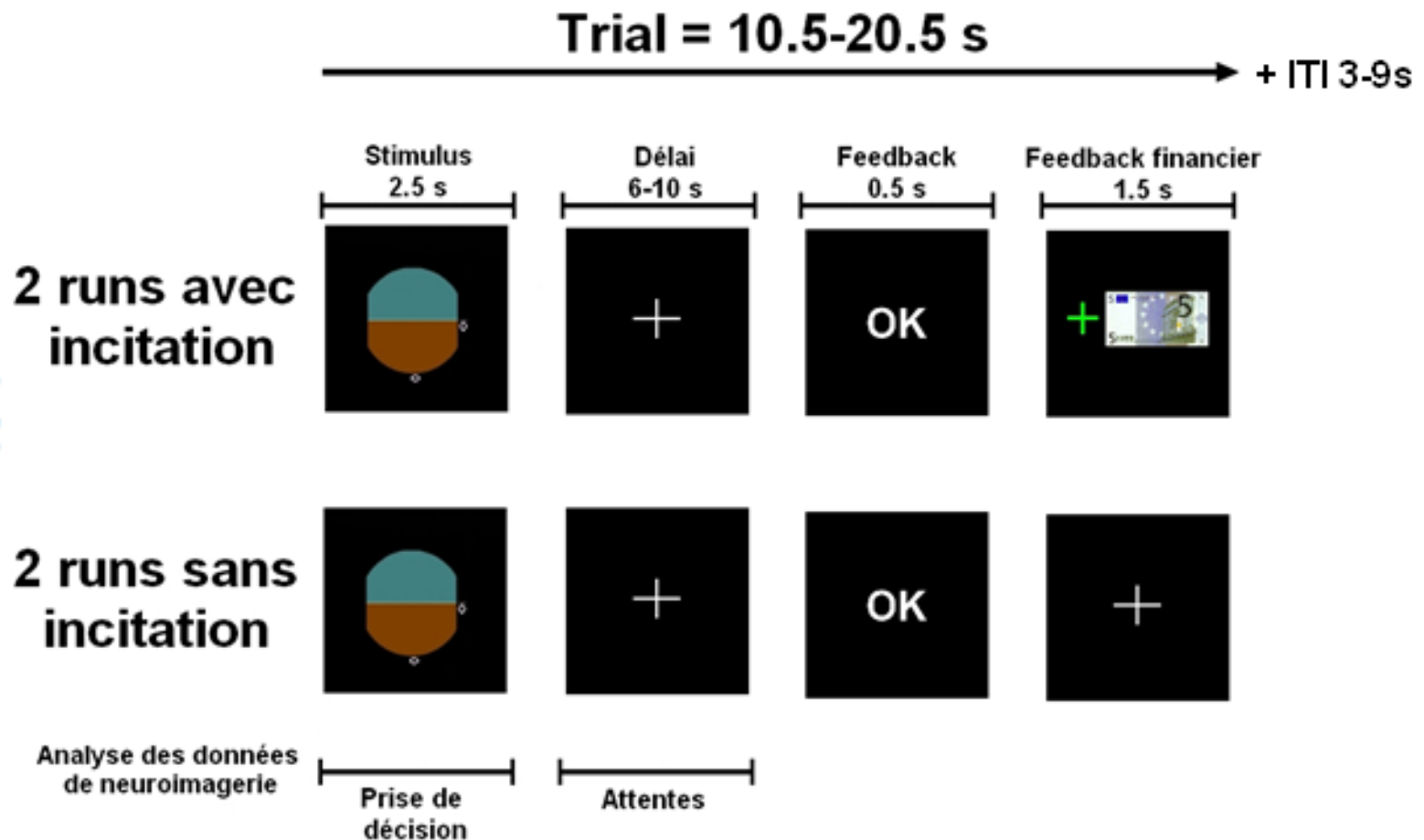


FIGURE 2 Effects of framing manipulation on decisions to press on in the decision scenario.

Matériel et méthodes

Design expérimental



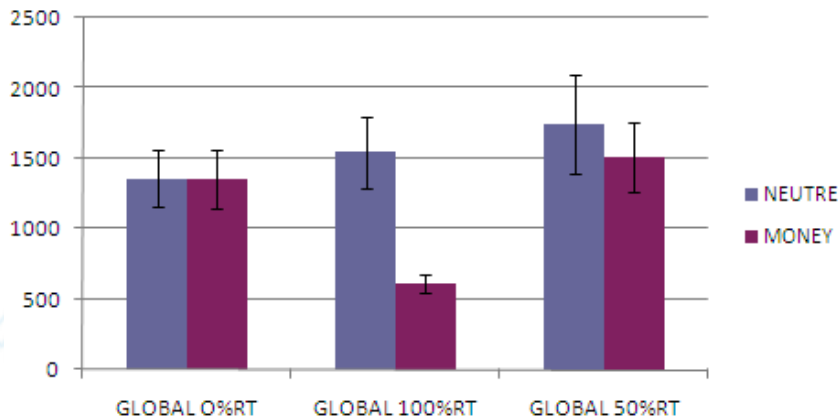
Résultats

Cause M., Dehais F., Pastor J. (2010) Economic issues provokes hazardous landing decision-making by enhancing the activity of "emotional" neural pathways. ICRAT 2010. Budapest, Hongrie.

Résultats

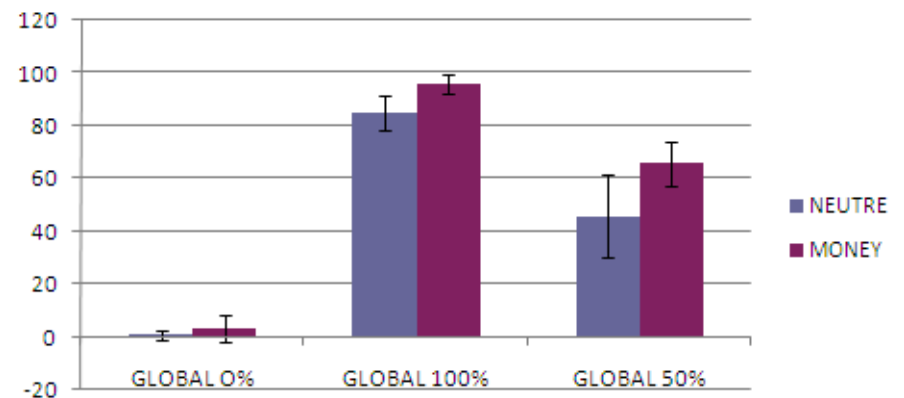
Résultats comportementaux

TR par type de stimulus



TR 100% > 100%* ($p = .027$)

% atterrissage par type de stimulus

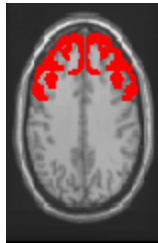


% Atterrissage 50%* > 50% ($p = .011$)

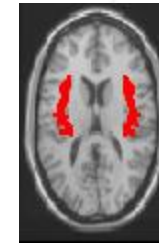
Résultats

Régions d'intérêt

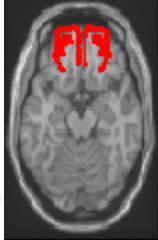
Cortex préfrontal dorsolatéral (CPF DL, BA 9/46)



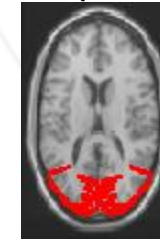
Insula (BA 13/14)



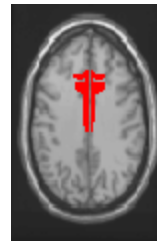
Cortex orbitofrontal (COF, BA 11/12)



Cortex Occipital (BA 17/18/19)



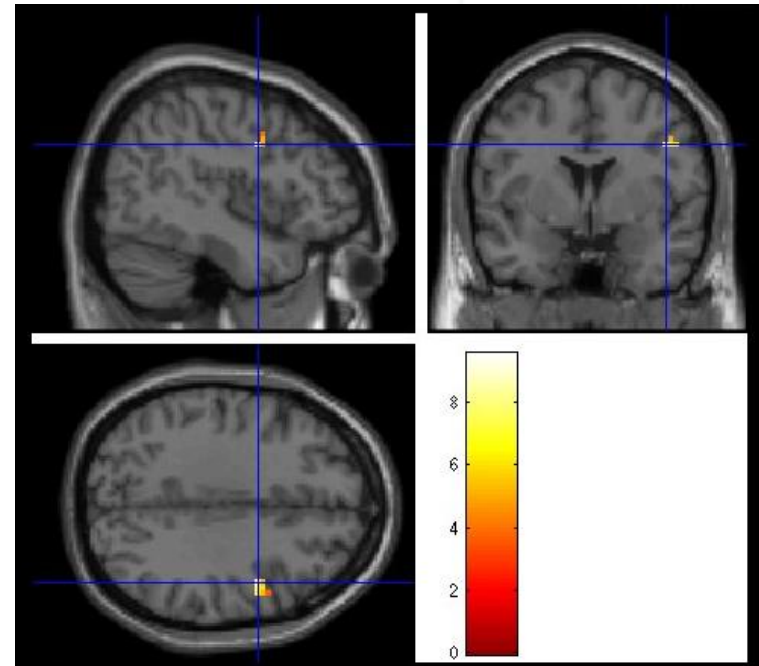
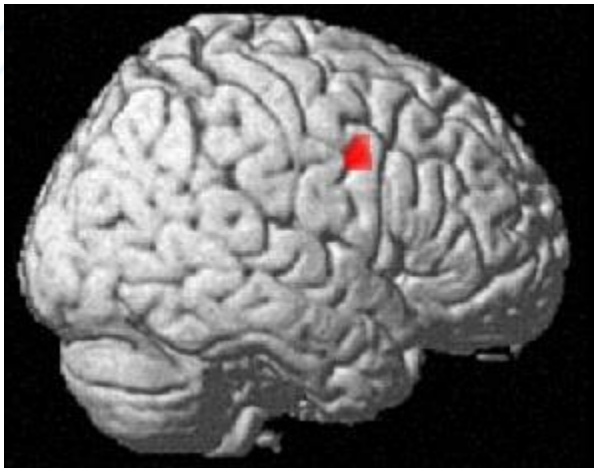
Cortex cingulaire antérieur (CCA)
Ventral/Dorsal (BA 24/32)



Résultats

Contraste : Neutre > Financier

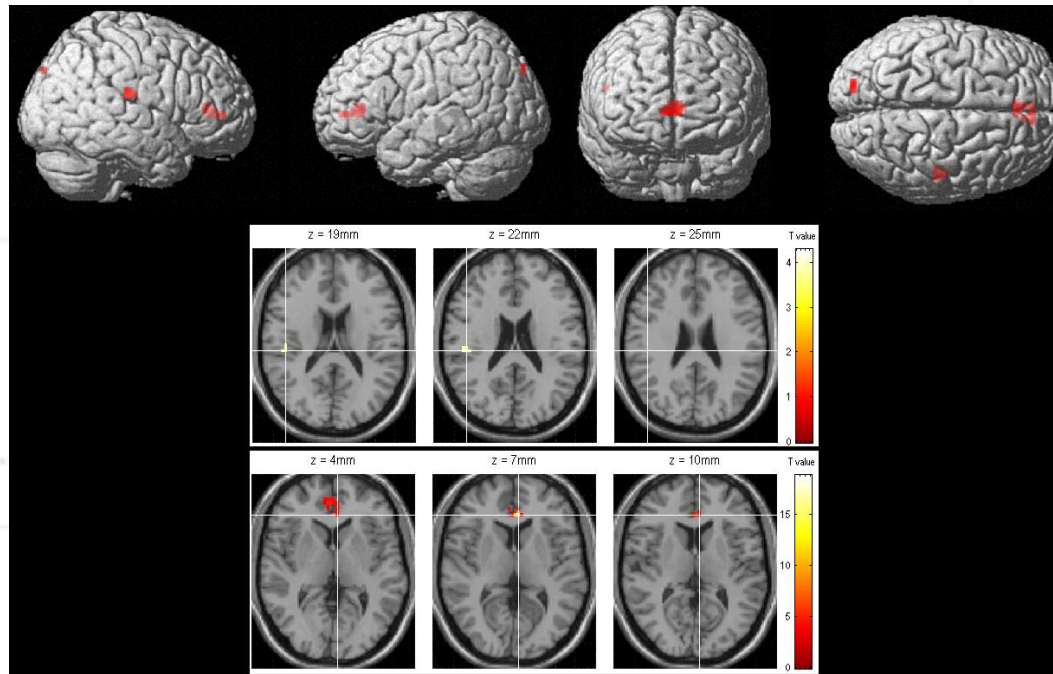
- Activité accrue dans le CPFDL Droit (BA 9, $p < .01$; $K = 23$)
 - Déactivation en présence de l'enjeu financier



Résultats

Contraste : Financier > Neutre

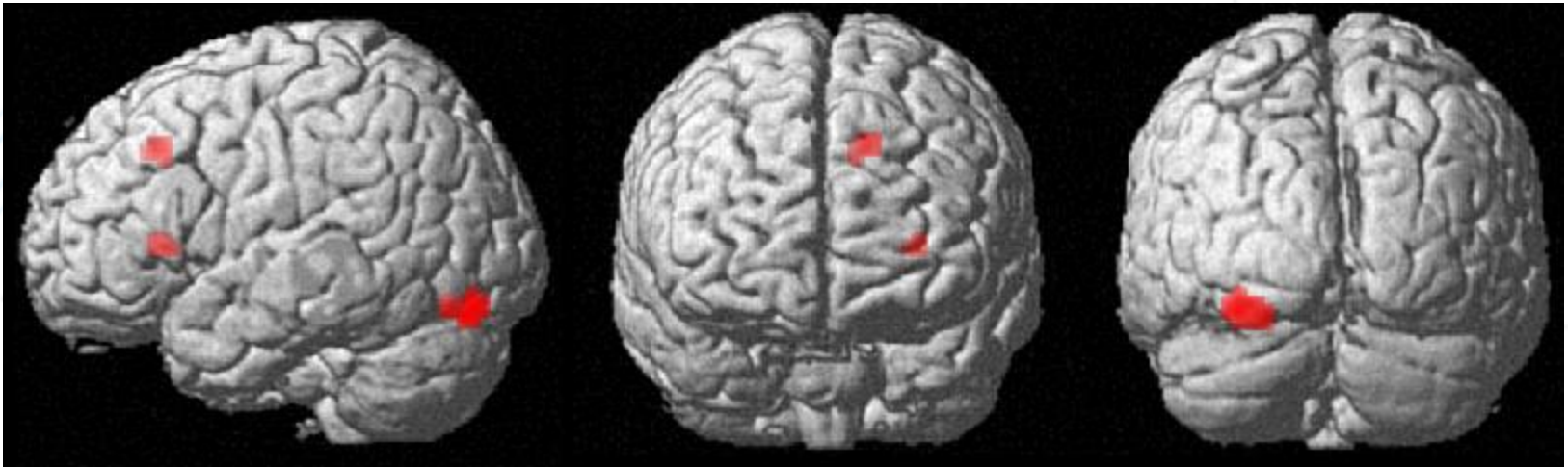
- Activité accrue dans :
 - CCA ventral (BA 24, $p < .01$; $K = 28$)
 - Insula (BA 13, $p < .01$; $K = 9$)
 - Cortex occipital gauche (BA 17, $p < .01$; $K = 5$)



Résultats

Contraste : Neutre Haute Incertitude > Financier Haute Incertitude

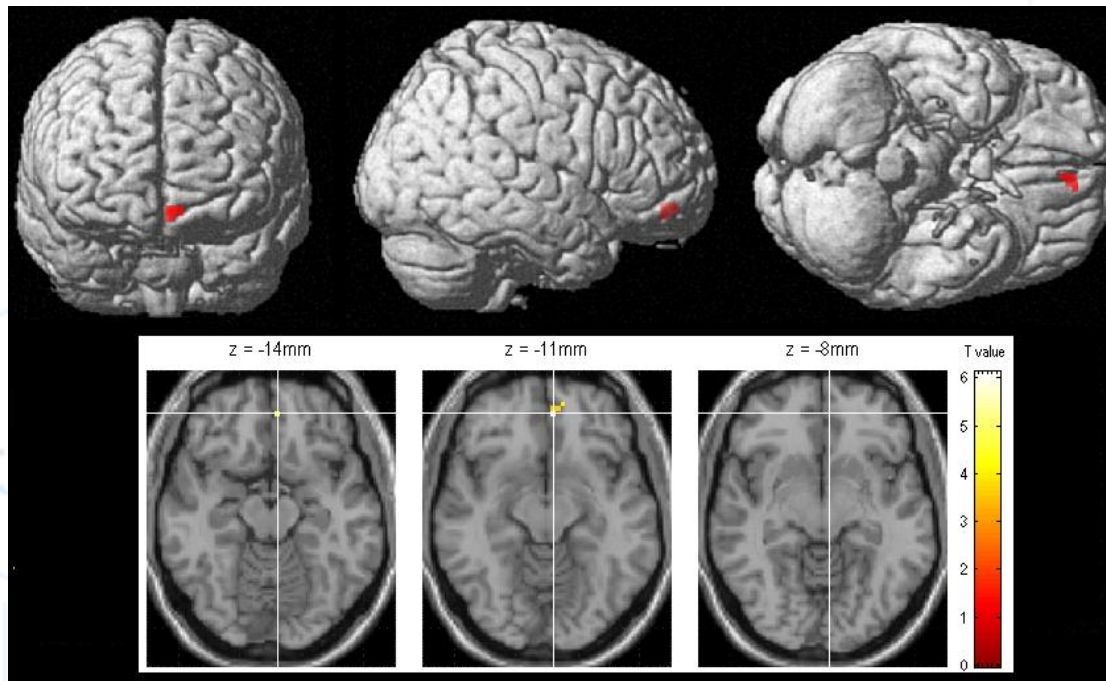
- Activité accrue dans :
 - CPFDL gauche (BA 9 / BA 46, $p < .01$; K = 11, K = 6)
 - Cortex occipital gauche (BA 18, $p < .01$; K = 27)



Résultats

Contraste : Financier Haute Incertitude > Neutre Haute Incertitude

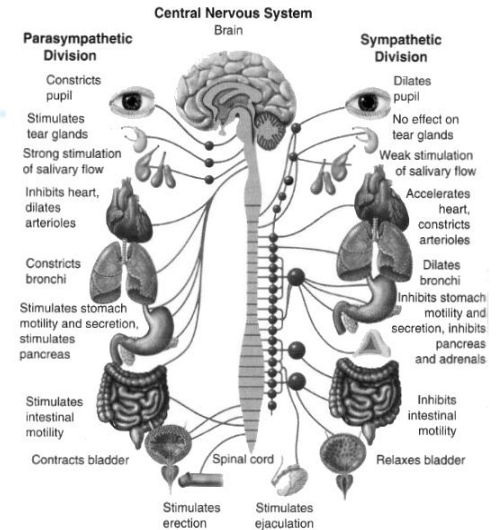
- Activité accrue dans :
 - COF (BA 11, $p < .01$; $K = 5$)



Conclusions

- Les données comportementales confirment le biais vers un comportement plus risqué
 - Moins rationnel ?
- Les résultats de neuroimagerie sont cohérents avec le comportement observé sous pression financière :
 - Déactivation du CPFDL en présence de l'enjeu financier
 - Haute incertitude : latéralisation à gauche (Parson et al., 2001)
 - Déactivation des aires visuelles lorsque l'incertitude est importante
 - Processus top-down (Shulman et al., 1997 ; Lane et al., 1997)
 - Activations de régions émotionnelles : CCA Ventral/COF
- Analyses des attentes
- Régresseurs additionnels
 - Anxiété
 - Impulsivité
 - Amplitude du Shift comportemental
 - TR
 - Cumul des regrets

Récompense & atterrissage : physiologie



Cause, M., Pastor J., Dehais F. (2011). *Applied Psychophysiology and Biofeedback*.

Objectifs

- 1) Étudier l'influence de la récompense et de l'incertitude sur la prise de décision dans une situation aéronautique
- 2) Observer les modifications de l'activité du SNA sous l'influence du passage d'une prise de décision rationnelle à *froid*, à une prise de décision émotionnelle à *chaud*

Matériel et méthodes

Participants

- Design expérimental identique à l'étude IRMf exceptées les durées du délai et de l'ITI
- 16 participants jeunes (âge moyen 20.37, $SD = 1.25$)
- Langue française
- Latéralisés à droite (Oldfield, 1971)
- Absence de trouble neurologique / psychiatrique
- Motivation financière

Matériel et méthodes

Mesures du SNA

Procomp Infinity



Oculomètre



ECG

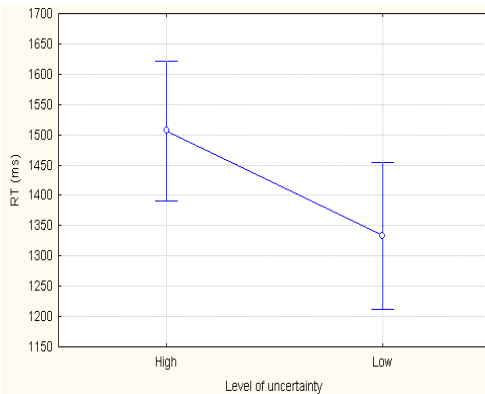


Résultats

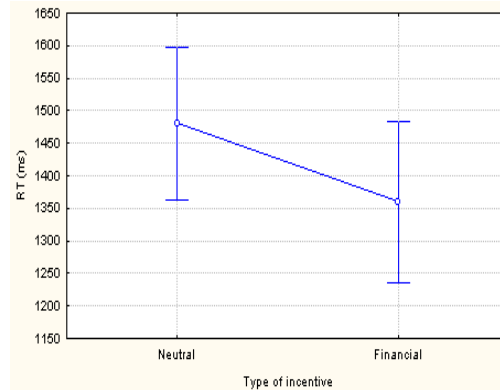
Résultats

Effet des variables sur les TR

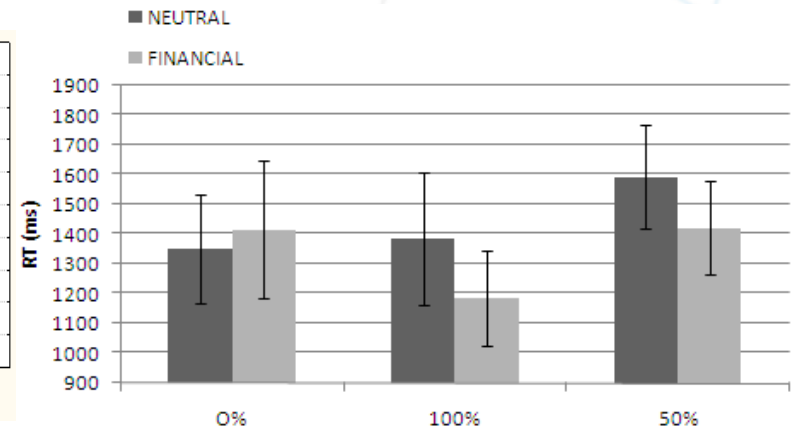
RT Niveau d'incertitude



RT Type de motivation



RT Par type de Motivation / de stimuli

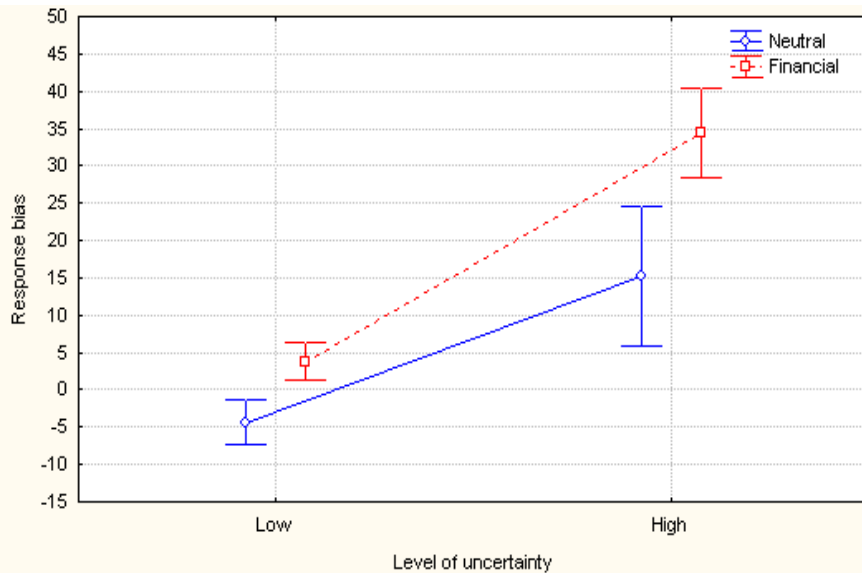


Predictors	Level of uncertainty	Stimulus type	Type of incentive	Level of uncertainty	Stimulus type *
				* Type of incentive	Type of incentive
RT	$p < .001^{***}$	$< .001^{***}$	$.001^{***}$.067	$< .001^{***}$
	F 45.539	22.099	16.143	3.930	6.826

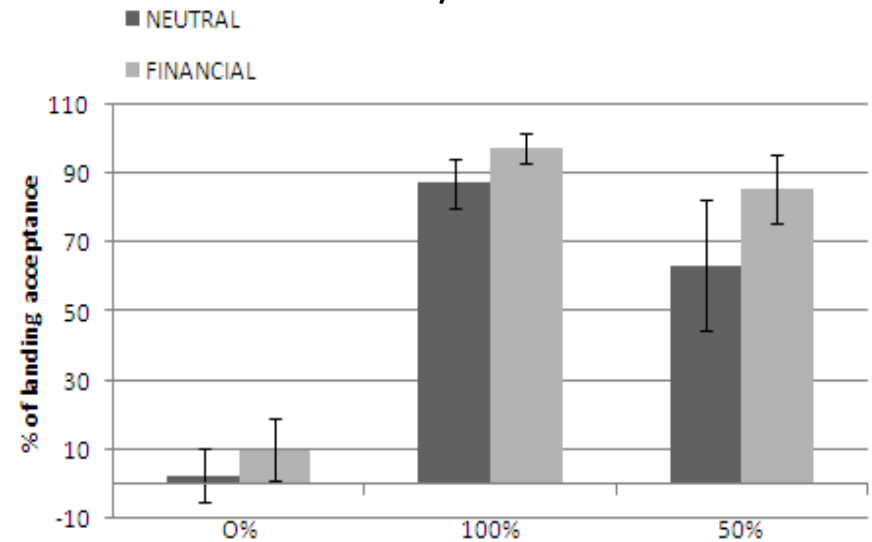
Résultats

Effet des variables sur les TR

% Atterrissage : biais total



% Atterrissage par type de Motivation / de stimuli



Predictors	Level of uncertainty	Stimulus type	Type of incentive	Level of uncertainty	Stimulus type *
				* Type of incentive	Type of incentive
% of landing	<i>p</i> /	<.001***	<.001**	/	.013**
	<i>F</i> /	802.109	20.242	/	5.079

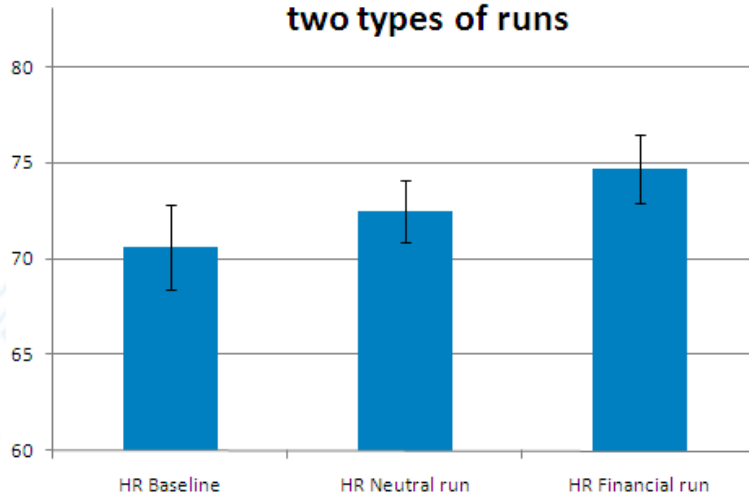
Résultats

Effet des variables sur l'activité du SNA

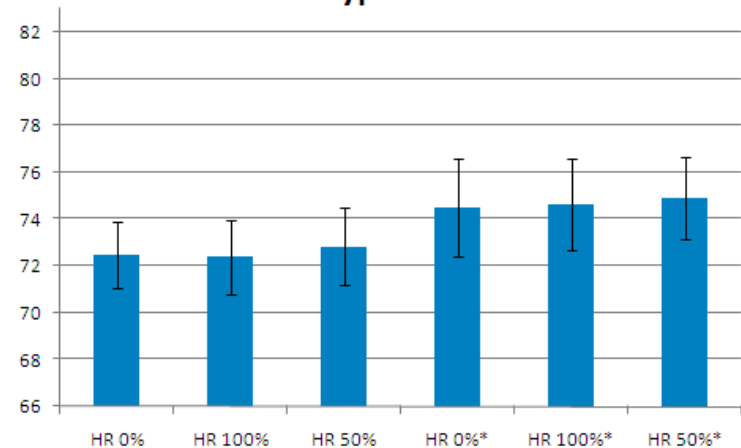
Différence entre les trois périodes ($p < .001$, $F(2.28) = 11.233$)

RC en condition financière > à neutre ($p < .009$, $F(1.14) = 9.570$)

HR (Bpm) during the baseline and the two types of runs



HR (Bpm) across the three types of stimuli*two types of incentive



Predictors	Level of uncertainty	Stimulus type	Type of incentive	Level of uncertainty *	Stimulus type * Type of incentive
HR	p .102	.177	.030*	.083	.096
	F 3.126	1.857	6.023	0.043	0.033

Discussion

- Les données comportementales confirment le biais vers un comportement plus risqué
- Réalité émotionnelle de la pression financière : augmentation RC non attribuable à une augmentation des performances
- Écart modeste en termes de RC (2.21 bpm) entre les deux types de run
 - Conformes toutefois à la littérature : Brosschot & Thayer (2003) 2.14 / 1.06 bpm pour émotion négative/positive
- Analyse des données d'oculométrie

