



# VERS LE CONCEPT DE STABILITÉ HUMAINE POUR L'AMÉLIORATION DE LA SÉCURITÉ DES TRANSPORTS TOWARD THE CONCEPT OF HUMAN STABILITY TO IMPROVE SAFETY OF TRANSPORTATION SYSTEM

Richard P. et Benard V.  
INRETS - ESTAS  
20 rue Elisée Reclus  
BP 317  
59633 VILLENEUVE D'ASCQ CEDEX

Vanderhaegen F. et Caulier P.  
LAMIH - CNRS FRE-3304  
UVHC - Le Mont-Houy  
59313 VALENCIENNES Cedex 9

## **Résumé**

Les erreurs humaines sont responsables de 70% des incidents et accidents dans les systèmes de transports. Ce papier propose de prendre en compte la stabilité humaine dont l'objectif principal est d'accroître le contrôle des risques. Un rappel des définitions des différents termes (robustesse, résilience...) est proposé pour positionner la stabilité humaine par rapport à ces termes. Ensuite, une définition de la stabilité humaine est proposée sous forme d'états de stabilité et de transition. Un premier formalisme, mono-critère, est proposé et appliqué à un système de transport : le contrôle de trafic aérien.

## **Summary**

Human errors are responsible for about 70% of incidents and accidents in transportation systems. This paper proposes to take into account human stability whose main objective is to improve risk control. A reminder of definitions on different terms (robustness, resilience ...) is provided to position the human stability in relation to these terms. Then, a definition of human stability is proposed in the form of states of stability and transitions. A first formalism, mono-criterion, is proposed and applied to a transportation system: air traffic control.

## **Introduction**

Aujourd'hui, les transports publics ont pris une place importante dans de nombreuses villes. Ce phénomène est probablement lié à des raisons économiques et des questions environnementales. En plus d'un déploiement croissant, les transports guidés doivent satisfaire aux exigences en matière de sécurité. Un accident est inacceptable pour l'opinion publique.

Plusieurs études ont été réalisées pour améliorer la fiabilité et la sécurité des systèmes techniques utilisés dans les transports guidés. Aujourd'hui, les risques d'accidents dus à des facteurs techniques sont relativement bien maîtrisés et sont acceptables.

Toutefois, pendant la phase opérationnelle, les systèmes de transports guidés souffrent toujours d'incidents ou d'accidents dont 70% sont liés à des facteurs humains (Amalberti, 2001). A partir des années 70, des études visant à comprendre, gérer et «corriger» les erreurs humaines sont menées. Les erreurs humaines sont maintenant connues et classées par type. De même, la fiabilité humaine est définie et les méthodes utilisées pour quantifier l'erreur humaine, souvent en terme de probabilité d'occurrence, ont vu le jour. La mise en œuvre de méthodes d'ingénierie des systèmes techniques à l'opérateur humain a été appliquée à la caractérisation et l'évaluation de la fiabilité humaine.

Cependant, il est un autre terme qui apparaît fréquemment dans l'étude des systèmes techniques et plus particulièrement dans le domaine de contrôle / commande : la stabilité. La stabilité permet de maintenir le système dans les zones d'exploitation connues et maîtrisées, sans aucune déviation due aux perturbations qui peuvent provoquer un risque pour le système et les opérateurs humains travaillant dans l'environnement système. La question d'étudier la mise en œuvre de la stabilité technique à l'opérateur humain peut donc être soulevée. Le terme «stabilité humaine» apparaît alors. L'objectif de ce papier est de présenter les bases de sa caractérisation.

Ce papier est divisé en 4 parties. La première partie est consacrée à la terminologie utilisée dans la stabilité et les grandes définitions existantes. La seconde partie vise à définir la notion de stabilité de l'homme et la troisième partie tente d'illustrer ce concept par un exemple concret. Enfin, les perspectives de ce travail sont discutées.

## **1 Terminologie**

Les grands systèmes industriels sont évalués tout au long de leur cycle de vie. Ils doivent être en conformité avec une multitude de critères de performance et de sécurité. Plusieurs de ces critères sont définis au paragraphe 2.1.

## 1.1 Définitions

Les systèmes techniques sont évalués tout au long de leur cycle de vie par l'utilisation de plusieurs critères. Afin de préciser la place de la stabilité par rapport à ces différents critères, un rappel des définitions est proposé :

- Disponibilité : capacité d'un système ou d'un composant à accomplir sa tâche (désignée ou requise) à un instant  $t$  donné (Villemeur, 1997)
- Fiabilité : capacité d'un système ou d'un composant à accomplir ses fonctions requises dans des conditions définies pour une période de temps spécifiée (MIL-STD-721C)
- Résilience : capacité d'un système ou de la société à s'adapter aux conséquences d'une défaillance catastrophique causée par une panne de courant, un incendie... (Carthey et al. cité par Gauthereau et al. 2005)
- Robustesse : capacité d'un système de continuer à fonctionner correctement sur un large éventail de conditions d'exploitation
- Sécurité : capacité d'un système à ne pas causer la mort, des blessures, des dommages ou des pertes d'équipement ou de biens, de dommages à l'environnement (MIL-STD-882E)
- Stabilité : un système est dit stable si, laissé à lui-même à partir des conditions initiales, il revient à son point d'équilibre (Hanus et al., 1996).

Il y a souvent confusion entre ces définitions et plus particulièrement entre les termes stabilité, résilience et robustesse. La figure 1 illustre les concepts d'états (en matière de stabilité) et les notions de capacités (relatives à la résilience et la robustesse).

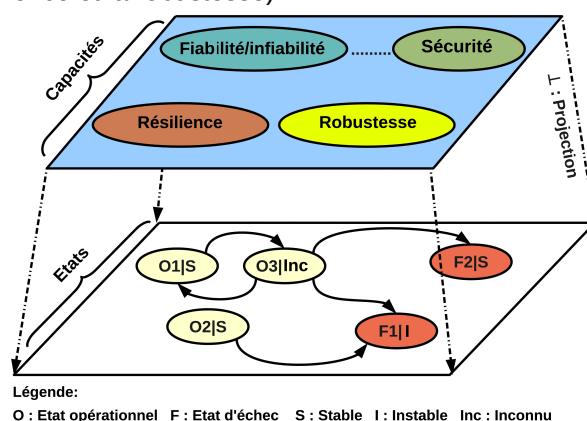


Figure 1 : Distinction entre les différents concepts

## 1.2 Rôle de l'opérateur humain dans les systèmes complexes

Quel que soit son niveau de sophistication et d'automatisation, un système complexe, comme un système de transport guidé, ne peut pas produire des performances optimales et éviter le risque d'événements catastrophiques sans l'assistance d'un opérateur humain qui est responsable de la surveillance du système. Pour comprendre l'opérateur humain comme un élément de sécurité du système, et pas seulement comme un élément perturbateur, il semble nécessaire de contrôler les variables qui caractérisent le comportement humain lors d'une situation dynamique. Bien qu'il ait différentes facultés et les stratégies cognitives pour la résolution de problèmes, le comportement de l'opérateur humain peut provoquer des erreurs involontaires dans certaines circonstances, comme une déviation de sa charge de travail, si elle n'évolue pas dans un état de stabilité acceptable.

La proposition de ce papier est de définir la stabilité humaine en se reposant sur les concepts du domaine de l'automatique en terme de stabilité.

## 2 Vers le concept de stabilité humaine

### 2.1 La composante humaine

Selon Amalberti (1996), des systèmes complexes ne peuvent éviter les risques de catastrophe sans l'aide des opérateurs humains. Avec un sens aigu de l'adaptation, l'opérateur humain est le dernier rempart fiable et le dernier garant de la sécurité lors d'une crise. Cependant, pour voir l'opérateur

humain, de ce point de vue, i.e. pas comme un élément perturbateur, il est nécessaire de contrôler les paramètres qui définissent le comportement des opérateurs humains en situation dynamique (Duquesne, 2005). Sur la base de modèles et des facteurs humains, et en complément aux aspects techniques du système, il est possible d'adapter la conception d'outils pour la conduite aux caractéristiques de l'opérateur humain (Millot, 1999). Dans l'ensemble, les mécanismes cognitifs qui entrent en jeu lors des différentes activités de l'opérateur humain, en situation dynamique de conduite, sont ceux qui lui confèrent un compromis entre trois objectifs contradictoires (Amalberti, 1996) :

- sécurité des personnes, du système, du produit ou du service et de l'environnement
- performances imposées, mais aussi souhaitées
- en minimisant la charge de travail (Sperandio, 1988), définie comme le niveau de l'activité mentale, sensori-moteur et physiologique nécessaire pour accomplir la tâche avec performance.

Pour étudier la stabilité de l'opérateur humain, il est nécessaire de structurer les indicateurs de cette stabilité. Ces indicateurs sont centrés sur l'opérateur humain ou sur certains paramètres du système technique sur lesquels l'opérateur humain a un contrôle. Ils sont classés en trois catégories :

- La facette «état» est intrinsèque et n'est pas facilement observable. Elle évalue la charge de travail de l'opérateur humain (Sperandio, 1980) et se décline en trois aspects:
  - Aspect «cognitif». Cet aspect reflète le degré de la connaissance monopolisé par l'opérateur humain dans son activité. Il est le reflet du niveau de qualification, des règles et d'une profonde connaissance identifiés par Rasmussen (1980)
  - Aspect «psychologique». Les indicateurs psychologiques sont liés à des sentiments de stress, l'insatisfaction, la frustration, l'inhibition ou même la culpabilité ressentis par l'opérateur humain
  - Aspect «physiologique». Ces indicateurs donnent des informations indirectement sur l'activité mentale de l'opérateur humain. Ils comprennent, par exemple, l'activité oculaire (mouvements oculaires, la direction du regard, clignements des paupières, reconnaissance faciale ...), la fréquence cardiaque et de la parole.

Ces différents aspects font partie de la régulation de l'activité d'un opérateur. La figure 4 montre le modèle de la régulation de l'activité humaine proposé par Millot (1999).

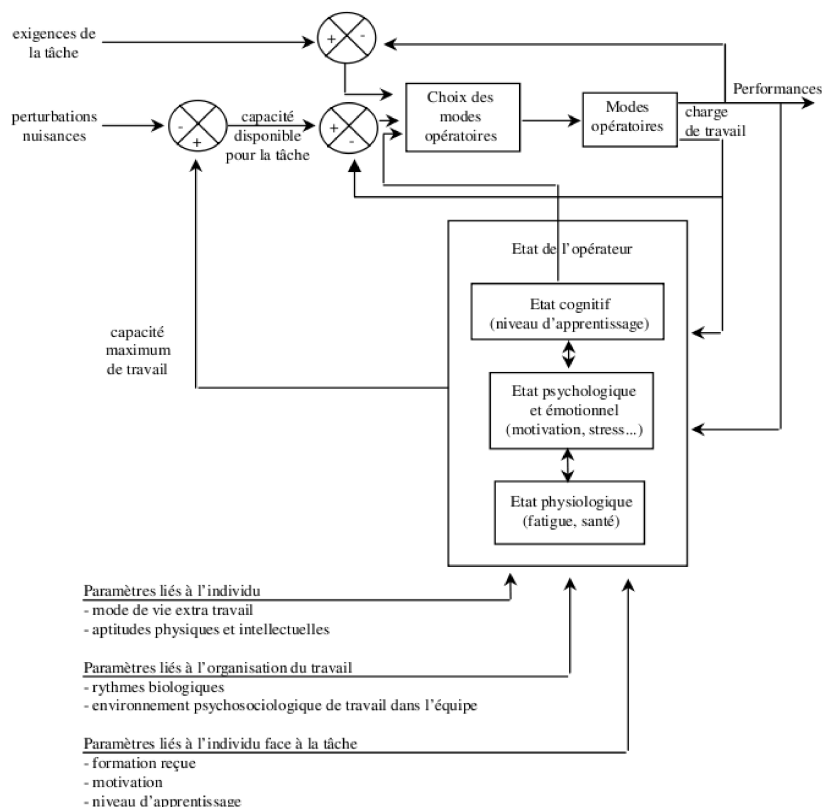


Figure 2: Modèle de régulation de l'activité humaine (d'après Millot, 1999)

Parmi les techniques d'évaluation de ces indicateurs, on trouve les indices de sentiment de charge, la technique de la tâche ajoutée ou l'analyse des variations des comportements opératoires. (Sperandio, 1980).

D'autres facettes sont extrinsèques et plus facilement mesurables. La facette "comportement" est centrée sur les variables du système qui sont contrôlées directement par l'opérateur humain. Il peut s'agir, par exemple: de la vitesse ou de l'inter-distance d'un système de transport guidé.

La facette "performance" mesure, d'une part, la conformité avec l'opérateur humain des règles de conduite et des normes de sécurité et d'autre part, la qualité du produit ou du service. Enfin, si cette structure en trois dimensions (figure 3) des indicateurs de la stabilité humaine semble générique, la formulation d'indicateurs peut être variable en fonction de la nature du système.

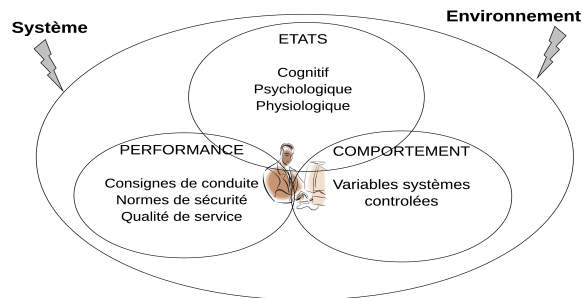


Figure 3 : Critères de stabilité classés par type

Les capacités intrinsèques et les stratégies pour résoudre les problèmes mis au point par l'opérateur humain, en situation de conduite dynamique, ne sont efficaces que si l'opérateur humain se trouve dans un état stable, comme le système. Il est donc nécessaire :

- de caractériser l'état stable de l'opérateur humain;
- d'identifier les conditions de changement d'états (stable et instable).

## 2.2 Définition de la stabilité humaine

La stabilité humaine est définie en fonction de plusieurs états fondés sur des définitions de la stabilité dans le domaine de l'automatique. La stabilité humaine se compose:

- d'états stables. Ces états sont basés sur une règle de la stabilité en automatique (entrée bornée, sortie bornée) et sur la définition de la stabilité de Lyapunov (1966). Pour chaque critère, l'opérateur humain est dans un état stable, si et seulement si, la valeur du critère est comprise entre deux valeurs limites. Ces valeurs limites sont sujettes à changement selon les conditions dans lesquelles l'opérateur humain se situe (environnementales, organisationnelles). C'est ici que la notion de stabilité humaine diffère de l'automatique;
- d'états instables. Un (ou plusieurs) critères de la stabilité humaine divergent;
- d'états indéterminés. L'opérateur humain est dans un état de stabilité qui n'est ni stable ni instable.

Les transitions entre ces états sont les suivantes:

- sauts. Ils représentent la transition soudaine et rapide d'un état stable à un autre
- ruptures. Ils représentent la transition soudaine et rapide d'un état stable à un état instable et vice versa.

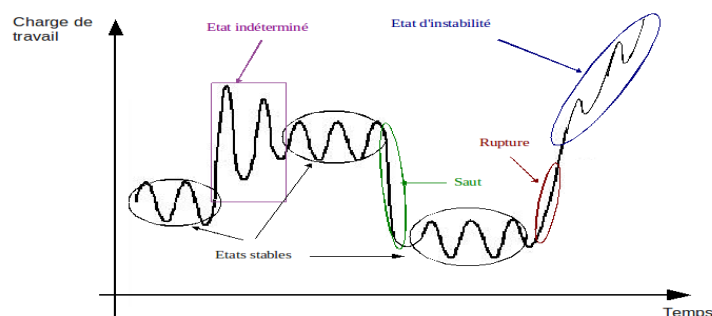


Figure 4 : Etats et transitions de la stabilité humaine

Une première formalisation mathématique de la définition de la stabilité humaine est proposée. Ce formalisme s'appuie sur la définition générale de Lyapunov. En terme simple, il définit la stabilité par: si un système commence autour d'un point et que les points suivants demeurent autour de ce point, le système est stable (Lyapunov, 1996). Ce formalisme est mono-critère.

Le formalisme estime que l'opérateur humain est stable, sur un critère, lorsque les valeurs sont autour de la première valeur détectée.

$$\alpha_1 * x(t_b) < x(t) < \alpha_2 * x(t_b) \quad \{1\}$$

avec  $x(t)$  la valeur actuelle,  $x(t_b)$  valeur initiale et  $\alpha_1, \alpha_2$  les valeurs de la limite de déviation. La valeur initiale est susceptible de changer au fil du temps, après un saut par exemple.

La rupture ou le saut sont identifiés par:

$$x(t) < \beta_1 * x(t_b) \text{ Ou } x(t) > \beta_2 * x(t_b) \quad \{2\}$$

La distinction entre les ruptures et les sauts se fait après l'événement, c'est à dire quand le nouvel état de stabilité est connu.

L'instabilité est caractérisée par une divergence.

$$\gamma_1 * x(t_b) < x(t) < \beta_1 * x(t_b) \text{ Ou } \gamma_2 * x(t_b) < x(t) > \beta_2 * x(t_b) \quad \{3\}$$

### 3 Application au contrôle de trafic aérien

Pour illustrer le concept de la stabilité humaine, une référence est proposée. Cet exemple est axé sur l'étude d'un indicateur classé comme «état»: l'exigence de la tâche. Cette exigence de tâche est déterminée en fonction du nombre d'avions et de conflits que le contrôleur a en charge. Cette exigence de tâche évolue donc en fonction de ces deux paramètres.

Cette étude est basée sur les données du projet SPECTRA disponibles dans le laboratoire LAMIH CNRS FRE-3304. Elle est utilisée pour valider les propositions de la stabilité humaine.

Les variables ( $\alpha_1, \alpha_2, \beta, \gamma$ ) ont été déterminées empiriquement.

Cette base concerne donc le domaine du contrôle de trafic aérien (ATC). SPECTRA permet l'étude de faisabilité d'une allocation dynamique des tâches dans l'ATC (Crevits et al., 2002 et Vanderhaegen, 1997). Ces données sont disponibles dans Vanderhaegen (2003) et sont présentées dans la figure 5.

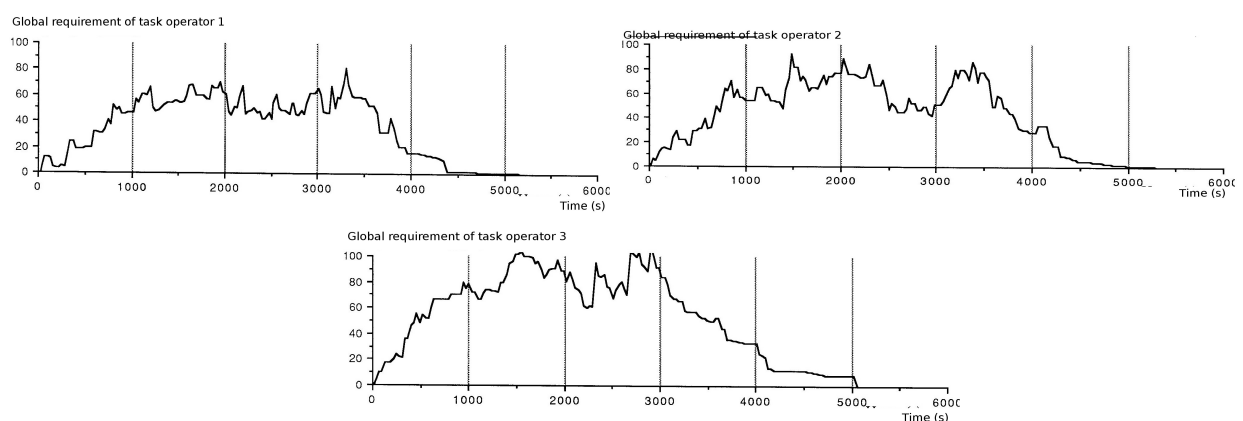


Figure 5 : Données SPECTRA

L'objectif est d'améliorer la sécurité des transports. Identifier les états de la stabilité sans connaître les risques associés n'est pas utile. Mais SPECTRA fournit des données supplémentaires. Parmi elles, une liste datée des événements apparus au cours de cette expérimentation (table1). Cette liste est résumée ici en termes d'événements perturbateurs (début de l'alerte, les conflits ...) et en termes d'erreurs humaines pour les trois contrôleurs de la circulation aérienne (ATCo):

Table 1 : Evénements enregistrés

Durée	Evénements ATCo1	Evénements ATCo2	Evénements ATCo3	Etats et niveaux de stabilité
0h07 (420s)		Oubli de répondre		ATCo2 instable
0h14 (840s)	Difficultés à utiliser les outils			ATCo1 instable
0h16 (960s)		Problème de cap avec avion		ATCo2 instable
0h23 (1380s)	Alarmes non perçues			ATCo1 stable à 0,55
0h25 (1500s)		Conflit non vu		ATCo2 stable à 0,55
0h32 (1920s)	2 alarmes, léger manque de temps pour les gérer: «C'était un peu serré»			ATCo1 saut
0h35 (2100s)			Conflit vu mais trop tard	ATCo3 instable
0h38 (2220s)	Vol non validé		Vol jamais mis à 250, modification correcte	ATCo1 stable à 0,42 ATCo3 stable à 0,63
0h39 (2340s)		Conflit non perçu	Conflit mal résolu	ATCo2 instable ATCo3 saut
0h44 (2640s)	Alarme non perçue			ATCo1 stable à 0,42
0h45 (2700s)		Alarme non perçue		ATCo2 rupture
0h49 (2940s)		Conflit résolu mais vu trop tard		ATCo2 rupture
0h52 (3120s)			Conflit non vu	ATCo3 instable
0h54 (3240s)	Changement du cap du vol un peu tardif			ATCo1 rupture
0h55 (3300s)			Alarme, l'avion dévie mais trop tard « Boum!!! »	ATCo3 stable à 0,68
0h59 (3480s)	Conflit non perçu		La situation redevient presque normale	ATCo1 rupture ATCo3 stable à 0,58
1h01 (3660s)	Conflit vu mais trop tard		Oubli d'appeler vol SAS 9604	ATCo1 rupture ATCo3 instable
1h04 (3840s)		A presque oublié un vol		ATCo2 instable
1h06 (3960s)		Mauvais cap sur un vol, « c'est très grave »	Remet le vol SAS 9604	ATCo2 instable ATCo 3 instable
1h07 (4020s)		Dévie l'avion mais trop tard		ATCo2 instable

Dans le tableau, les niveaux de stabilité représentent des pourcentages. En effet, l'unité de l'exigence de tâche est un pourcentage. Un ATCo stable autour de 0,55 signifie que son exigence de tâche est stable autour de 55%.

Ces données permettront de procéder à une identification des risques associés aux différents types d'états de stabilité. Les graphiques de gauche (figure 6) représentent l'évolution de la stabilité dans le temps en fonction du niveau d'exigence de tâche. Les plateaux correspondent à la valeur initiale de l'état stable, mais sur cette courbe, il est difficile d'identifier les états instables et les transitions. C'est pourquoi ces courbes ont été utilisées pour construire des graphes d'états (graphes de droite sur la figure 6). En utilisant les courbes précédentes, les états de stabilité, d'instabilité et les transitions sont identifiés par l'utilisation des équations fournies au paragraphe 2.2. Chaque identification s'effectue sur plusieurs itérations. La zone horizontale entre 0 et 1 représente les états stables avec leurs niveaux de stabilité. Les zones à -1 représentent un état instable ou indéterminé. Les sauts sont représentés par le passage d'un niveau de stabilité à un autre et les ruptures par le passage d'un état stable à un état instable et vice versa.

Nous avons observé que 7 événements qui représentent 22,58% des événements figurant dans la table 1, se produisent durant un état stable, 10 (32,26%) dans un état instable ou indéterminé et 14 (45,16%) pendant un saut ou une rupture. L'analyse générale montre l'apparition de risques d'événements indésirables ou d'erreurs humaines pendant les ruptures et les sauts ainsi que durant les états instables.



Une analyse plus détaillée permet de relier les événements indésirables en fonction de l'état de stabilité de l'opérateur humain. Pour l'événement «conflits et alarmes non perçus» par les ATCo, il apparaît que dans 50% des cas ils se produisent lors d'une pause ou une rupture (5 cas sur 10) et que dans 20% des cas ils se produisent au cours d'un état instable (2 sur 10) et dans 30% des cas dans un état stable (3 sur 10). Il est à noter que dans 2 sur 3, les événements indésirables apparaissant durant un état stable se produisent juste avant un saut ou une rupture. L'événement «résolution des conflits, mais trop tard» survient dans 33,3% des cas (1 sur 3) durant un état stable, juste avant un saut et dans 66,7% des cas lors d'une rupture ou d'un saut (2 cas sur 3). Pour l'événement «vol non valide» il apparaît lors d'un saut, mais ce type d'événements n'est observé qu'une seule fois. Il est donc difficile de conclure sur une corrélation entre cet événement et ce saut. Pour l'événement «changer de cap d'un vol de façon incorrecte», il apparaît dans 50% des cas (1 sur 2) lors d'un état instable et dans 50% des cas lors d'un saut (1 sur 2).

Cette méthode propose un diagnostic de la stabilité humaine de façon mono-critère. Elle montre un lien entre les sauts, les ruptures, l'état instable et l'occurrence d'événements indésirables. Le diagnostic pendant les états stables est difficile en l'état actuel des travaux. Cette difficulté peut être due à un niveau de stabilité trop faible ou trop important ou un état stable durant trop longtemps, mais cela nécessite des travaux complémentaires. L'occurrence d'événements indésirables durant un état stable peut être aussi parfois le fait d'une exigence de tâche trop élevée (> 80%) pour l'opérateur humain. Toutefois, ce premier travail est intéressant car il montre l'existence d'un risque pendant les états instables et les ruptures / sauts. Il semble intéressant de surveiller l'état de stabilité de l'opérateur humain. Cela pourrait permettre de forcer l'opérateur humain à revenir dans un état de stabilité connu et voulu, via un stimulus, quand il est dans un saut / rupture ou dans un état instable. Il serait également très intéressant de faire du pronostic afin d'anticiper les différentes transitions (saut/rupture) et les états instables pour prévenir la survenue d'événements indésirables et / ou d'erreurs humaines.

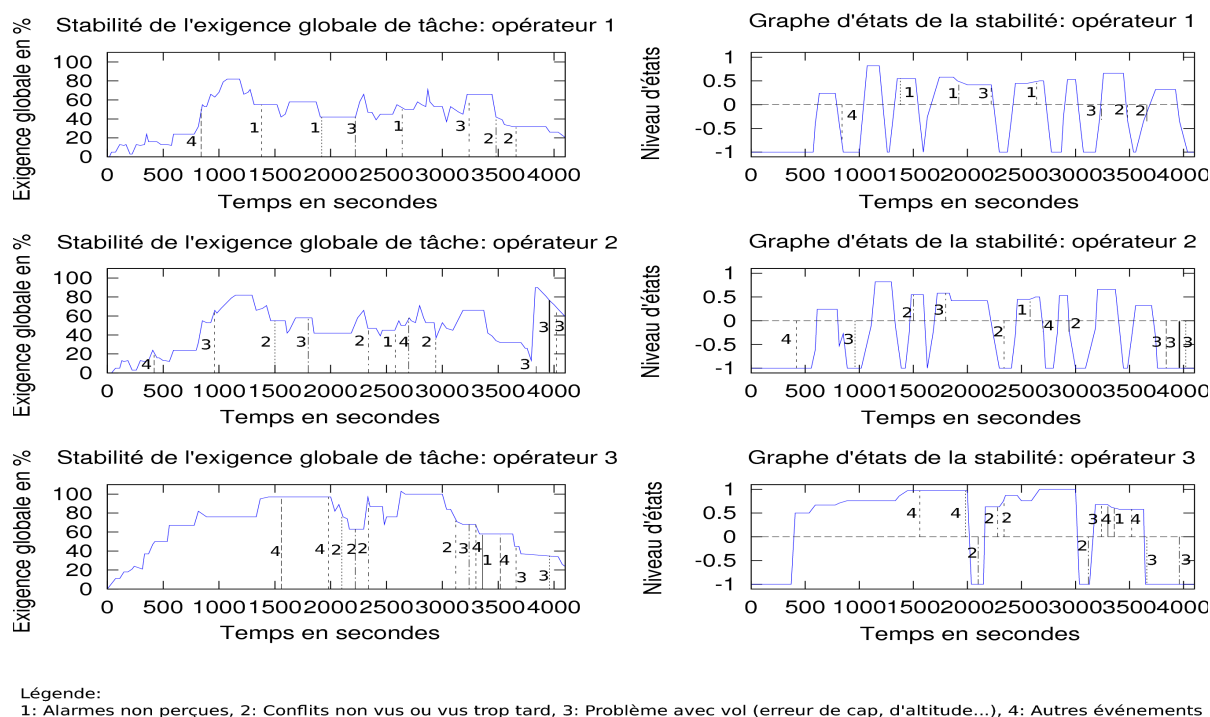


Figure 6 : Graphiques de la stabilité et graphes d'états

## CONCLUSION

Cet article propose l'étude d'un nouveau critère d'évaluation du comportement de l'opérateur humain dans les systèmes homme-machine: la stabilité humaine. En effet, l'étude de stabilité est généralement menée sur le système technique. L'étude sur la stabilité humaine, dans cet article, se concentre sur une étude mono-critère. Il apparaît des liens de cause à effet entre la survenue d'événements indésirables ou d'erreurs humaines et les différents états de stabilité. Néanmoins, l'étude mono-critère ne semble pas suffisante. L'activité de l'opérateur ne peut être réduite à un seul critère, mais peut être influencée par un ensemble de critères (charge de travail ...), y compris ceux

qui sont proposés au paragraphe 2.1. Pour mener une étude multi-critères, il sera nécessaire de faire évoluer le formalisme actuel, ceci dans l'optique d'améliorer l'étude de la stabilité humaine. Il sera également nécessaire de pondérer les critères, i.e. donner un niveau d'importance à un critère ou un ensemble de critères. Il paraît aussi intéressant d'étudier la possibilité d'appréhender les différents critères de stabilité en terme de signal fort ou faible. Cette façon de procéder permettrait de pondérer directement les critères. Elle soulève plusieurs questions notamment quelle est la corrélation d'un signal faible ou fort par rapport la stabilité humaine. Est ce qu'un ensemble de signaux faibles équivaut à un signal fort? Est-ce un signal faible provoque un risque significatif?...

Ce travail propose un diagnostic de la stabilité humaine. En effet, l'étude de ce facteur est effectuée à postériori. Il semble plus intéressant de développer ce concept dans un objectif de prédiction. Dans Richard et al. (2009), il est proposé une étude sur la modélisation de l'opérateur humain par les modèles de la communauté système dynamique hybride. Ce type de modèles prend en compte les composantes continues et discrètes de l'opérateur humain. L'utilisation de ce type de modèles, par exemple les Réseaux de Petri Prédicats-Transitions Différentielles et Stochastiques (RdP PTDS), pour la stabilité humaine semble intéressante car les transitions représentent des signaux discrets et les états de stabilité ou d'instabilité des signaux continus.

#### 4 Références

- Amalberti, R. (1996). La conduite des systèmes à risque. Collection Le Travail Humain, *Presses Universitaires de France*.
- Amalberti, R. (2001). The paradoxes of almost totally safe transportation systems. *Safety science*, 2001, pp. 109-126
- Crevits, I., Debernard, S. and Denecker, P. (2002). Model building for air-traffic controller's workload regulation. *European Journal of Operational Research*, 136, 324-332.
- Duquesne, L. (2005). Jugement multicritère d'acceptation individuelle de la signalisation routière variable. *Mémoire de Master Recherche AISIH*, UVHC, Valenciennes, France, Juillet 2005.
- Gauthereau, V. and Hollnagel, E. (2005). Planning, Control, and Adaptation: A Case Study. *European Management Journal*, Vol. 23, No. 1, pp. 118-131.
- Gribble D., S. (2001). Robustness in complex system. *Proceedings of the 8th Workshop on Hot Topics in Operating Systems (HotOS-VIII)*, Elmau-Germany, may 2001.
- Hanus, R., Bogaerts, P. (1996). Introduction à l'automatique vol.1. De Boede University. ISBN: 2-8041-2108-9.
- Lyapunov, A.M. (1966). Stability of motion, *Academic Press*, New-York and London, 1966
- MIL-STD-721C, Military Standard, Definitions of terms for reliability and maintainability.
- MIL-STD-882E, Military Standard, System safety program requirements.
- Millot, P. (1999). Systèmes Homme-Machine et Automatique. *Conférence plénière invitée aux Journées Doctorales de l'Automatique JDA'99*, Nancy - France, pp. 1-24, january 1999.
- Rasmussen, J. (1980). What can be learned from human error reports? In K. Duncan, M. Gruneberg & D. Wallis (Eds.), *Changes in working life*. Wiley: London.
- Richard, P., Vanderhaegen, F., Benard, V. and Caulier, P., (2009). Proposition of establishment of a model of human-machine system by hybrid dynamic system model applied to guided transport. *Proceedings of 8. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme*, Berlin, Germany, 7-9 October 2009.
- Spérandio, J-C., (1980). La psychologie en ergonomie. *Presses Universitaires de France*.
- Spérandio, J-C., (1988). L'Ergonomie du travail mental. *Masson (2ème édition)*.
- Vanderhaegen, F. (1997). Multilevel organization design: the case of the air traffic control. *Control Engineering Practise*, 5 (3), 391-399.
- Vanderhaegen, F. (2003). Analyse et contrôle de l'erreur humaine. *Hermes Science Publications*.
- Villemeur, A., (1997). Sûreté de fonctionnement des systèmes industriels, edition Eyrolles.