

Vincent Lecrubier

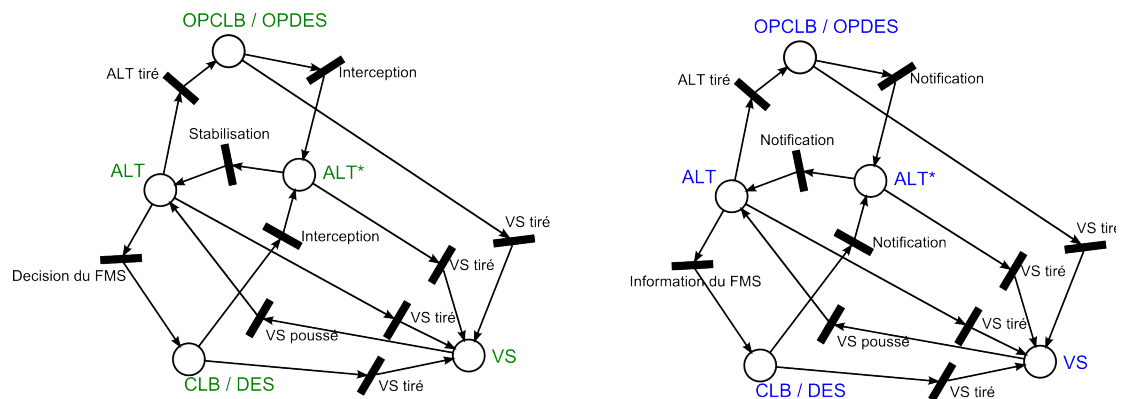
BE Opération et supervision

25 Aout 2010

Formalisation des conflits

Représentation du système (pilote + pilote auto) par un réseau de Petri

Un réseau de Petri permet de représenter les transitions de modes du pilote automatique, en voici une version simplifiée représentant seulement une partie des modes verticaux, et une partie des transitions de modes possibles :



Ce réseau de Petri se décompose clairement en deux parties distinctes :

- Une partie (places en vert) représentant l'état réel du pilote automatique. Les transitions dans cette partie sont tirées suite soit à un évènement indépendant du pilote (interception d'une trajectoire cible, dépassement de limite, etc.), soit à une action du pilote (modification d'une valeur, action sur un poussoir, etc.)
- Une partie (en bleu) schématisant la représentation mentale du pilote sur l'état du pilote automatique. Les transitions sont ici tirées suite soit à une indication fournie par le système ET captée par le pilote (signal lumineux, modification d'une indication textuelle, etc.), soit suite à une action consciente du pilote (modification d'une valeur, action sur un poussoir, etc.)

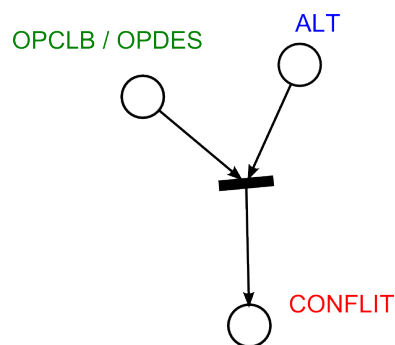
On voit que les deux parties ont une structure similaire, c'est à dire que l'on se place dans une situation où le pilote connaît (car il l'a appris) le fonctionnement du pilote automatique. Sa représentation mentale des modes du pilote automatique est parfaitement structurée, il est capable d'en comprendre le fonctionnement.

Définition d'un conflit

Sous cette hypothèse, un conflit est très simple à modéliser, il s'agit tout simplement d'une situation où le marquage de la partie du réseau de Petri représentant l'état réel du pilote automatique ne correspond pas au marquage de la partie du réseau de Petri schématisant la représentation mentale du pilote. Ce qui revient à dire :

$$\text{REALITE} \neq \text{REPRESENTATION MENTALE} \Rightarrow \text{CONFLIT}$$

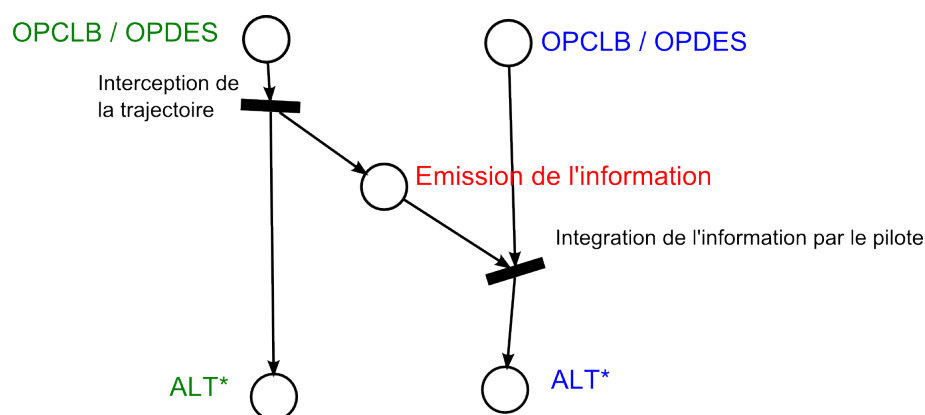
Pour ajouter les conflits dans le réseau de Petri proposé précédemment, il faudrait donc ajouter un conflit à chaque fois qu'une place activée dans le réseau de gauche ne l'est pas dans le réseau de droite. Voici par exemple le conflit intervenant lorsque le pilote croit que le pilote automatique est en mode ALT alors qu'il est en mode OPCLB ou OPDES.



Synchronisation des deux parties

En supposant qu'en début de vol, le pilote connaisse exactement le mode du pilote automatique actif, alors l'absence de conflit pendant le vol revient à dire que chaque transition tirée d'un côté doit forcément l'être de l'autre. Une transition de la représentation mentale doit toujours être associée à une transition de l'état réel, et vice-versa. Ceci permet aux deux parties de rester synchronisées.

La synchronisation entre les deux réseaux de Petri (mental et réel) peut être modélisée. Voici par exemple comment on représenterait la synchronisation lors du passage du mode OPCLB ou OPDES au mode ALT* :



Différents types de conflits mis en avant par la modélisation

Cette modélisation permet de mettre en avant deux types de conflits possibles, ainsi que leur causes :

- Une transition est tirée dans le pilote automatique réel, mais pas dans la représentation mentale :
 - Signalisation de l'évènement trop faible, non captée ni intégrée par le pilote.
 - Action du pilote automatique allant à l'encontre de ce que le pilote a anticipé.
- Une transition est tirée dans la représentation mentale, mais pas dans la réalité :
 - Le pilote a anticipé une transition du pilote automatique, mais celle-ci n'a pas lieu.
 - Le pilote agit sur le pilote automatique, pensant déclencher une transition, mais rien ne se produit réellement (sélecteur défectueux, appui trop bref ou trop faible sur un bouton, bug informatique, etc.)

Résolution des conflits

Lorsqu'un conflit de représentation éclate, plusieurs éléments peuvent aider le pilote à prendre conscience du problème :

- Indicateurs, voyants représentant l'état du pilote automatique sont en contradiction avec la représentation mentale du pilote.
- Comportement du pilote automatique en contradiction avec les événements anticipés par le pilote, qui a alors l'impression d'être « perdu »

Une fois le conflit détecté, le pilote doit faire le point sur la situation afin de resynchroniser sa représentation mentale avec l'état réel du système. Pour cela, il s'appuie sur les indications fournies par le pilote automatique. Ainsi, il est clair que pour faciliter la résolution des conflits, le pilote automatique doit avoir un affichage permettant d'un seul coup d'œil de prendre conscience des modes de fonctionnement actifs.

Dans certains cas, favorisés par des facteurs humains tels que le stress, la fatigue, la peur ou une charge de travail trop élevée, un phénomène de persévération dans l'erreur a lieu : le pilote est en erreur mais n'en prend pas conscience. Il n'intègre pas les informations lui permettant de prendre conscience de la situation : alarmes, voyants lumineux, textes en couleur, etc. Les raisons de cette non intégration des informations sont diverses :

- Signalisation trop faible, non captée par le pilote en situation de stress, d'autant plus si les conditions sont difficiles (bruit dans la cabine, alarmes, luminosité, mouvements de l'avion)
- Persévération dans l'erreur : inconsciemment, le pilote ne prend pas en compte les informations qui ne correspondent pas à ce qu'il « veut » voir. Le pilote persuadé de ne pas se tromper peut même aller jusqu'à suspecter un dysfonctionnement du pilote automatique.

Complexité due au nombre de pilotes

Il faut ajouter que la situation a été ici simplifiée, car en réalité dans de nombreux cas (dont celui des avions de ligne) il n'y a pas un mais plusieurs pilotes, et donc plusieurs représentations mentales qui peuvent être en conflit entre elles. Dans le cas courant à deux pilotes, Il existera alors plusieurs situations :

- Un des pilotes a la bonne représentation mentale, l'autre se trompe. Le désaccord des pilotes donne alors lieu à un échange de point de vue dans le cockpit, il y a plusieurs issues possibles :
 - La discussion permet aux deux pilotes de retrouver une bonne vision des modes actifs.
 - Pour une raison quelconque (incompétence, problème de communication, pression sociale ou hiérarchique, etc.) le pilote qui a tort arrive à avoir le dessus, ce qui empire les choses: les deux pilotes sont dans l'erreur, et convaincus d'avoir compris la situation.
 - La discussion dure trop longtemps (Complexité trop importante du système, incompréhension de la part des pilotes), la situation peut empirer alors que les pilotes sont encore en train de discuter pour comprendre ce qui se passe.
- Les deux pilotes ont la même représentation mentale erronée. Le conflit n'est pas détecté, et le danger est maximum. Les deux pilotes auront plus de difficultés à se remettre en question car ils sont d'accord, et se font confiance mutuellement.

On voit donc l'importance de la communication entre les pilotes, qui doivent tenter au maximum d'avoir deux visions similaires de l'état du système. Ainsi lorsque l'un des pilotes effectue une action sur le pilote automatique, il est nécessaire qu'il la communique à son collègue afin que la vision de celui ci reste à jour.

En résumé, il existe plusieurs entités dans le système : Pilote automatique, pilote, copilote. Ces trois entités doivent rester parfaitement synchronisées afin d'éviter tout risque de conflit. La communication d'homme à homme est donc aussi importante que la communication homme machine.

Ergonomie du pilote automatique

Importance de l'interface homme machine

La première partie nous a permis de nous rendre compte que l'ergonomie du pilote automatique est primordiale, car c'est l'interface du pilote automatique qui permet aux deux parties du système (pilote + pilote auto) de rester synchronisées. Nous allons ici étudier certains aspects de l'ergonomie du pilote automatique, mettant en avant des problèmes et des solutions.

Deux scénarios de conflit

Voici deux scénarios de conflits mettant en jeu la sécurité de l'avion et de ses passagers, notons que ces deux situations sont représentables dans le modèle proposé en première partie.

- Situation provoquée par une mauvaise communication entre les deux pilotes, la séquence d'évènements est la suivante :
 - Le copilote désactive l'automanette sans en avertir le pilote, le pilote a une représentation mentale erronée (le conflit commence dès cet instant).
 - Plus tard dans le vol, l'avion est amené en survitesse, ce qui donne lieu à une situation dangereuse par exemple suite à une manœuvre automatique de protection non anticipée (le conflit est à son maximum de capacité de nuisance).
 - Le pilote croyant que la protection d'énergie empêchait la survitesse est alors face à une incohérence entre le comportement de l'avion et celui qu'il anticipait (prise de conscience de l'existence du conflit).
 - Le pilote résout le conflit à l'aide d'une discussion avec le copilote et des indications du pilote automatique (résolution du conflit).
- Situation provoquée par l'action d'un pilote et un défaut de compréhension entre le pilote automatique et le pilote.
 - Le mode CLB est engagé, et une contrainte d'altitude doit être respectée à un point de passage.
 - Le pilote veut modifier l'altitude cible, en modifiant l'altitude sélectionnée et en tirant sur le bouton ALT. Le pilote automatique passe alors en mode OPCLB. La contrainte d'altitude au point de passage ne sera plus respectée, mais le pilote ne prend pas conscience de cette conséquence de son action (le conflit commence)
 - L'avion dépasse l'altitude cible, puis passe au dessus du point de passage à une altitude trop importante (le conflit est au maximum de dangerosité)
 - Le pilote réalise que la contrainte n'as pas été respectée, et prend conscience du conflit après que le danger ait éclaté. (prise de conscience et résolution du conflit)

On remarque que la prise de conscience de l'existence d'un conflit a lieu dans ces cas APRES que le danger a commencé à exister, mettant la sécurité de l'avion et de ses passagers en jeu.

Résultats de l'expérimentation

L'expérimentation effectuée nous permet de nous rendre compte que les indications visuelles fournies par le pilote automatique sont assez difficiles à intégrer dans leur globalité. La profusion d'indications dans le cockpit compliquent la tâche du pilote, qui doit connaître à tout instant l'état de sa machine.

Le but étant d'avoir en tout instant une équivalence entre la représentation mentale et l'état réel du système, certains problèmes sont trouvés lors de l'expérimentation :

- Un changement de mode du pilote automatique, qui sera associé à la modification d'une ligne sur le PFD ne peut pas être intégrée automatiquement par le pilote. La modification est trop faible dans son champ de vision périphérique pour qu'elle attire son regard. C'est pourquoi les pilotes ont un circuit visuel à respecter, et doivent contrôler périodiquement les indications du pilote automatique.
- Le pilote (inexpérimenté) peut avoir tendance à rester trop longtemps le regard rivé sur un ou plusieurs indicateurs dont les indications lui semblent incohérentes. Le pilote passe du temps à résoudre un conflit, et pendant ce temps, un autre conflit peut se présenter, compliquant la situation.
- L'abandon d'une contrainte fixée depuis le FMS suite à un changement de mode n'est pas notifié au pilote. Le pilote doit avoir conscience des conséquences de ses actions, même si celles-ci sont complexes.

Afin d'aider le pilote dans sa tâche, plusieurs solutions existent déjà :

- En mode managé, le prochain mode engagé est indiqué sous le mode courant, permettant au pilote d'anticiper les événements à venir.
- Certains changements de mode s'accompagnent d'une notification sonore, permettant au pilote de prendre conscience d'un changement.
- Un code couleur existe, permettant de fournir de l'information de manière simple et intuitive aux pilotes.
- Des informations tactiles sont transmises, par exemple les sélecteurs ont des formes et un toucher différent, permettant d'éviter des erreurs d'inattention.

Solutions envisageables

De nombreuses solutions sont envisageables afin de faciliter la tâche du pilote. Elles consistent soit à :

- Donner des indications plus précises au pilote sur l'état actuel du pilote automatique, son état futur, les contraintes engagées, réalisables, etc. Pour cela, on s'aide de codes couleur, de lignes et symboles sur l'affichage, etc.
- Aider le pilote à rester à jour dans ces informations, en lui faisant prendre conscience de chaque changement instantanément. On s'aide alors de signaux plus forts tels que clignotement, changement de couleur, notification sonore ou tactile, etc.

Mais le gros problème de la plupart de ces solutions est qu'elles complexifient encore un peu plus l'affichage dans le cockpit, qui peut alors se transformer en sapin de Noël, au look certes très futuriste mais assez peu ergonomique ni efficace en cas d'urgence. C'est pourquoi un des points importants en développement aujourd'hui est la hiérarchisation des informations. On évite de saturer la conscience du pilote avec des alarmes ou indications peu importantes lorsque des événements importants se déroulent simultanément.

Mais pour connaître l'importance de telle ou telle information, l'avion doit être capable d'analyser sa situation et de comprendre quels facteurs sont critiques à un moment donné, et lesquels ne le sont pas. Cette tâche est parfois assez difficile à réaliser, et lourde de conséquences, c'est pourquoi la hiérarchisation des informations dans le cockpit en est encore à ses débuts, surtout pour les informations critiques.