



HAL
open science

Agrégation d'activités. Découverte de profils de vols à partir des traces des paramètres.

D. Guéron, L. Chaudron, J. Caussanel, N. Maille

► To cite this version:

D. Guéron, L. Chaudron, J. Caussanel, N. Maille. Agrégation d'activités. Découverte de profils de vols à partir des traces des paramètres.. INFORSID2010, XXVIIème congrès, atelier ICT, "Interactions Contextes Traces", May 2010, MARSEILLE, France. hal-01060278

HAL Id: hal-01060278

<https://onera.hal.science/hal-01060278>

Submitted on 3 Sep 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Agrégation d'activités

Découverte de profils de vols à partir des traces des paramètres

David Guéron* — Laurent Chaudron* — Jean Caussanel** — Nicolas Maille*

* ONERA (The French Aerospace Lab), Provence Research Center
BA701, 13661 SALON-AIR
{david.gueron, laurent.chaudron, nicolas.maille}@onera.fr

** LSIS/CODEP - UMR CNRS 6168
Domaine Universitaire de Saint-Jérôme
Avenue Escadrille Normandie-Niemen, 13397 MARSEILLE CEDEX 20
jean.caussanel@lsis.org

RÉSUMÉ. Cet article décrit les premières étapes du développement d'un processus d'agrégation supervisée visant à produire des profils de vols à partir des enregistrements de l'ensemble des paramètres de plusieurs vols, afin de contribuer à l'amélioration de la sécurité aérienne d'aéronefs. La première étape, de décomposition, consiste à transformer les traces des vols étudiés en un ensemble de paramètres et d'indicateurs significatifs de l'activité représentée. A l'étape suivante, la maïeutique, on cherche alors à qualifier (à définir différents types) et mettre en commun ces manœuvres élémentaires. Nous présentons ici la mise au point du processus permettant de trouver la règle la plus pertinente au sein d'une base de règles candidates pour l'identification de la croissance d'un paramètre.

ABSTRACT. This article describes the first steps of the development of a supervised aggregation process aimed at producing flight profiles on the basis of recorded flight parameters for several flights, in order to improve aircrafts' air security. The first step of decomposition has to do with converting the spoors of the studied flights and manœuvres in a set of parameters and indicators, significant of the portrayed activity. The following step, maieutics, lies in qualifying (defining several types) and putting together all these elementary manœuvres. We here present the process by which we establish the most relevant rule amongst a set of basic rules, candidates for accounting for the rise of a parameter.

MOTS-CLÉS : agrégation, manœuvre, aéronef, activité de pilotage, facteurs humains

KEYWORDS: aggregation, manœuvre, aircraft, piloting activity, human factor

1. Introduction

Problématique

Dans le cadre de la gestion de la sécurité des opérations aériennes, l'OACI (Organisation de l'Aviation Civile Internationale) encourage les compagnies aériennes à mettre en place des programmes d'Analyse Systématique des Vols. Ces programmes sont principalement basés sur la recherche d'écarts définis par des dépassements de seuils et, ainsi, ne permettent pas bien d'identifier des situations ou des déviations imprévues ([STA 07]).

Pour pallier cette lacune, des démarches reposant sur l'identification de vols atypiques par des outils statistiques sont proposées ([AMI 05], [BUD 09]). Elles nécessitent néanmoins un nombre important d'observations (au moins 1000 vols pour chaque trajet) et une régularité dans les pratiques de vol. Ceci rend ces méthodes difficilement adaptables aux missions laissant plus de liberté aux équipages : missions de secours en hélicoptère, vols militaires. . .

Approche mise en œuvre

Nous avons privilégié une autre approche consistant à baser la recherche des déviations sur une modélisation de l'activité de l'équipage. Pour cela, nous utilisons un modèle d'activité capable de prendre en compte la variabilité de l'activité humaine ([LEB 00]). Ce modèle est mis en œuvre à l'aide du LDA ([BON 08]), un langage d'activité dérivé du N-MDA ([CAF 09]).

Ces outils permettent de décrire les actions élémentaires de l'équipage (par exemple la sortie du train d'atterrissage) ainsi que de les regrouper au sein d'un *profil de vol*. Ce profil contient à la fois les éléments particuliers de la procédure de vol et les règles permettant leur identification à partir des paramètres de vol.

La limitation majeure de cette nouvelle approche se trouve dans l'expertise requise pour la modélisation des profils de vol qui servent ensuite de base à la recherche de déviations. Le travail présenté ici vise à répondre à ce problème. Pour cela, nous avons cherché à *semi-automatiser* la construction des profils de vol, c'est à dire à offrir des outils pour aider l'expert à la construction et l'agencement des règles à partir d'un ensemble de vols servant d'exemples et qui sont utilisés dans un mécanisme d'apprentissage.

Plan de travail

Dans la section 2, nous présentons le processus d'agrégation et les modalités de sa mise en œuvre. La section 3 qui suit est consacrée à la démonstration de la faisabilité de la deuxième étape du processus d'agrégation, l'étape maïeutique.

L'étape suivante du processus d'agrégation, qui sera le sujet d'une communication ultérieure, consiste à mettre au point les méthodes et outils pour combiner ces activités élémentaires en un profil de vol.

2. Agrégation de manœuvres d'hélicoptère

2.1. Le processus d'agrégation supervisée

Les profils de vol sont à l'heure actuelle établis manuellement par les experts à l'aide d'un processus coûteux basé sur

- les procédures standard décrites dans les manuels de pilotage (c'est l'expertise théorique) ;
- les entrevues, avec des opérationnels comme avec des instructeurs (c'est l'expertise opérationnelle) ;
- la mise à jour de l'expertise et l'ajustage des profils à partir d'activités observées et de retours des officiers de sécurité.

Ce document présente les premiers pas dans l'élaboration du processus d'*agrégation supervisée*, qui doit conduire, à partir d'un ensemble de vols exemples et d'une expertise se rapportant à ces vols, à l'établissement d'un *profil de vol* qui rend compte des vols exemples. Il repose sur la mise en œuvre des trois étapes suivantes :

1) l'étape de décomposition :

il s'agit de sélectionner des éléments simples permettant de décrire les propriétés qui nous intéressent, pour les objets que nous devons agréger.

Dans notre cas, nous décomposons chaque vol en un ensemble de paramètres de différentes natures (numérique ou symbolique), qui décrivent l'attitude de l'appareil (vitesses, positions et orientations dans l'espace...) ou les actions de l'équipage (position du collectif et du manche, configuration du pilote automatique...). Ces paramètres permettent alors d'exprimer les manœuvres de vol (virages, palliers...) qui constituent les propriétés cibles pour l'agrégation ;

2) l'étape maïeutique :

à cette étape, on cherche à identifier les points communs aux différents objets de départ.

Pour nous, ces points communs sont des *règles* qui rendent compte de points clés associés à des manœuvres de vol, c'est à dire qui fournissent, par exemple, les date de début des virages ;

3) l'étape de reconstitution :

elle combine les éléments issus de l'étape précédente pour créer un nouvel objet, résultat de l'agrégation des objets d'origine mais de nature différente.

Ici, on établit les profils de vols, qui sont donc des relations entre les règles identifiées à l'étape précédente.

Basée sur le processus d'agrégation décrit dans [BAR 03], cette agrégation supervisée en diffère cependant dans la nature de la seconde étape : chez Barberà, celle-ci est une étape de "*moyenne*", qui aboutit à un objet du même type que ceux de départ. Cependant pour des objets complexes tels que des vols (dans lesquels sont présents des éléments de subjectivité humaine, ou encore que l'on peut envisager selon différents points de vue ou décrire de différentes façons), il semble impossible de pouvoir

”moyenner” chaque caractère de description individuellement tout en assurant la cohérence de l’objet reconstitué.

2.2. Format des données à disposition

Notre étude est basée sur un ensemble de vols d’hélicoptère effectués par des pilotes militaires dans le cadre d’une expérience étudiant la qualité du pilotage dans un environnement de vision dégradée ([GON 08]), sur des manœuvres élémentaires (le virage et la stabilisation en altitude).

Chaque colonne du tableau d’enregistrement de vol (voir le tableau 1) contient les valeurs d’un paramètre, à des dates de mesures régulièrement espacées (d’un intervalle de l’ordre d’1s). On notera $\mathcal{R}_T \subset \mathbb{R}_+^*$ l’ensemble des instants de ces mesures, qui figurent dans la colonne Temps.

Alors, X désignant un paramètre de vol (par exemple ”Temps” ou ”Assiette latérale” dans le tableau 1), on notera $\bar{X}(t)$ (resp. $\underline{X}(t)$) la valeur du paramètre X à l’instant de mesure immédiatement postérieur (resp. antérieur) au temps t :

$$\bar{X}(t) = X\left(\min_{\substack{t' \geq t \\ t' \in \mathcal{R}_T}}(t')\right), \quad \underline{X}(t) = X\left(\max_{\substack{t' \leq t \\ t' \in \mathcal{R}_T}}(t')\right). \quad (1)$$

#Application	Elips	Onera.Dcsd...	07/06/2008
# Temps	Volet	Assiette latérale	Train d’atterrissage
0	0		
0.000807	0	30.0000000	0
⋮	⋮	⋮	⋮
60.311278	22	87.715332	1

Tableau 1. Extrait d’un enregistrement de paramètres de vol

Certains des 63 paramètres enregistrés traduisent l’attitude de l’hélicoptère (sa position et son orientation dans l’espace, ses vitesses...), d’autres les actions et commandes du pilote ou du copilote (les positions du collectif et du manche, la configuration du pilote automatique...).

2.3. L’expertise

On peut distinguer trois parties dans l’expertise utilisée :

2.3.1. La forme de la règle

L’expertise est tout d’abord présente dans le choix de la forme générale de la règle utilisée pour témoigner d’une variation significative. Pour rendre compte de l’augmen-

tation (resp. la diminution) significative d'un paramètre, nous avons ici choisi les deux formes de règles décrites plus bas.

RÈGLE — Augmentation (resp. diminution) d'un paramètre

Etant donnés deux seuils sTh et $cTh \in \mathbb{R}_+$ tels que $sTh < cTh$ (resp. $>$), on dira que le paramètre X augmente (resp. diminue) significativement si et seulement si

$$\exists sT, cT \in \mathcal{R}_T : \begin{cases} |X(sT)| \leq sTh \text{ et } |X(cT)| \geq cTh, & (\text{resp. } \geq, \leq) \\ \forall t \in]sT; cT[\cap \mathcal{R}_T, \quad sTh < |X(t)| < cTh. & (\text{resp. } >, >) \end{cases}$$

La figure 1 illustre la règle, montrant que ces deux manœuvres élémentaires sont identifiées quand un paramètre passe au-delà (resp. en deçà) d'un certain seuil (cTh). Le début de la manœuvre est alors identifié comme le premier instant antérieur auquel le paramètre est strictement inférieur (resp. supérieur) à l'autre seuil de la règle (sTh).

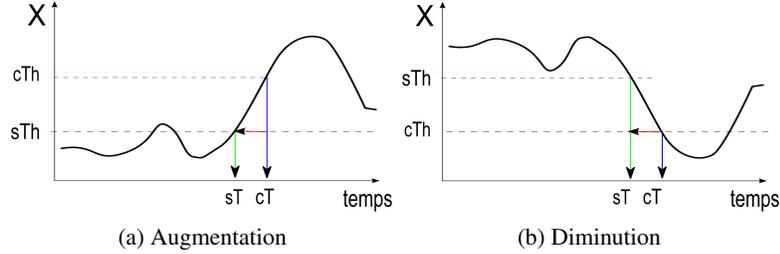


Figure 1. Evolution d'un paramètre

Utilisée avec l'assiette latérale d'un hélicoptère, la règle déterminant l'augmentation d'un paramètre peut être utilisée pour rendre compte du début d'un virage ; utilisée avec la vitesse verticale d'un aéronef, elle peut indiquer le début d'une montée.

Algorithmes disponibles

Nous avons alors besoin d'une ou plusieurs méthodes associées à chaque forme de règle, pour en déterminer les seuils. Pour les deux règles étudiées ici, on utilise respectivement les deux algorithmes page suivante.

2.3.2. L'ensemble des vols experts

Pour les vols de l'ensemble \mathcal{F}_{exp} , qui seront utilisés pendant le processus d'apprentissage, les dates clés des manœuvres qui nous intéressent doivent être identifiées par

ALGORITHME — Détermination des seuils pour la règle d'augmentation d'un paramètre (resp. diminution).

1) Initialisation des seuils : $sTh = 0$, $cTh = +\infty$.

2) Mise à jour des seuils :

en notant $n = |\mathcal{F}_{exp}|$ l'ensemble des vols de la base experte, les seuils sont mis à jour de la façon suivante :

pour $i = 1$ à n , faire :

$$sTh = \max(|\underline{X}(Kp^i)|, sTh) \quad (\text{resp. min}) , \quad (2)$$

$$cTh = \min \left(\max_{\substack{t > Kp^i \\ t \in \mathcal{R}_T}}(|\underline{X}(t)|, cTh) \right) \quad (\text{resp. max(min)}) . \quad (3)$$

Vol	dates			
	Key Point 1	Key Point 2	Key Point 3	...
Vol 1	Kp_1^1	Kp_2^1	Kp_3^1	...
Vol 2	Kp_1^2	Kp_2^2	Kp_3^2	...
...

Tableau 2. *Format de l'expertise*

des experts. Elles peuvent se présenter sous une forme semblable à celle du tableau 2. Ces vols seront utilisés durant le processus d'apprentissage afin de déterminer :

- la forme de la règle ainsi que le(s) paramètre(s) au(x)quel(s) elle s'applique qui rendent le mieux compte des dates données par les experts ;
- les seuils de cette règle.

2.3.3. Critères d'évaluation d'une règle

La dernière étape du procédé consiste à sélectionner la règle la plus pertinente (avec ses seuils et son paramètre d'application). Il s'agit ici de déterminer la précision d'une règle, ainsi que la confiance qui peut être portée au résultat de son application.

On a identifié trois étapes dans lesquelles sont testées :

1) la *cohérence* des résultats obtenus :

une règle dont les seuils sont tels que $sTh > cTh$ sera rejetée comme incohérente ;

2) la *conformité* des résultats de la règle à l'expertise donnée :

les règles qui ont passé avec succès la première étape sont ensuite utilisées pour re-

trouver les manœuvres expertes sur les vols de \mathcal{F}_{exp} .

Dans l'idéal, on devrait obtenir des dates clés identiques à celles données par les experts. Dans la pratique, on peut s'attendre à observer des différences, aussi bien petites et fixes (corrigées par exemple en modifiant des biais), que d'ampleur plus importante et moins prévisible, signes que la forme de la règle choisie ne convient pas à la manœuvre étudiée.

Il est alors nécessaire de pouvoir caractériser le type et évaluer la valeur de cette déviation. Dans l'exemple élémentaire étudié ici, on s'est contenté d'évaluer cette déviation en utilisant un simple critère écart-type :

$$C^2 = \frac{1}{|\mathcal{F}_{\text{exp}}|} \sum_{1 \leq i \leq |\mathcal{F}_{\text{exp}}|} \left(Kp_{\text{exp}}^i - Kp_{\text{eval}}^i \right)^2, \quad (4)$$

où Kp_{exp}^i (resp. Kp_{eval}^i) désigne le point clé du i -ème vol de l'ensemble de vols experts tel qu'il est spécifié par l'expert (resp. la règle évaluée) ;

3) la *pertinence* des seuils obtenus :

on a ici considéré que les seuils de début et de confirmation de manœuvre étaient d'autant plus pertinents qu'ils étaient éloignés. Ainsi, le dernier critère de sélection d'une règle, à utiliser lorsque les deux critères précédents n'ont pas permis de choisir entre deux règles, est la maximisation de l'amplitude $|cTh - sTh|$.

3. Application à un ensemble de vols

La méthodologie et les algorithmes décrits au paragraphe 2.3 ont été implémentés en langage Java et évalués sur un ensemble de quatorze vols, contenant chacun un virage, dont l'expert identifiait la date de début (c'est l'expertise décrite au paragraphe 2.3.2). Sept de ces vols ont constitué la *base d'apprentissage*. Les sept autres ont servi de base de test.

Ultérieurement, quand l'ensemble des vols utilisés sera plus important, le rapport entre les vols experts et les vols tests sera de l'ordre de 4 contre 1.

3.1. Détermination et application de la règle

Les deux formes de règles présentées plus haut ont été appliquées aux 63 paramètres de vol.

Lors de l'évaluation, des $2 \times 63 = 126$ règles calculées (pour chaque paramètre, les deux règles, d'augmentation et de diminution) seules 4 se sont avérées cohérentes (c'est à dire qu'elles ont passé la première étape de l'évaluation avec succès). Ces 4 règles, qui sont toutes des règles d'augmentation, sont indiquées dans le tableau 3.

En utilisant alors le second critère, de conformité, on a établi que la meilleure règle pour rendre compte du début du virage était l'*augmentation de l'assiette latérale*, avec

	Paramètre	sTh	cTh	Conformité <i>écart type (s)</i>	Pertinence <i>amplitude</i>
Règle d'augmen- tation	TEMPS	49,91	50,95	22,11	2,04
	POSITION Y	354,96	358,97	29,08	4,01
	ASSIETTE LATERALE	1,57	17,03	1,06	15,46
	DERAPAGE	6,46	8,53	5,26	2,07

Tableau 3. *Evaluation d'une règle*

comme seuils de début et de fin 1,57 et 17,03°. On peut également voir que cette règle est celle qui remplit le mieux le troisième critère, de pertinence, l'amplitude de ses seuils étant maximale.

3.2. Discussion

3.2.1. Résultats obtenus

La règle résultant du processus d'agrégation est cohérente avec ce qui était attendu avec des connaissances basiques en mécanique du vol. En effet, l'un des premiers effets d'une mise en virage est l'augmentation de l'assiette latérale de l'aéronef. Les valeurs des seuils sTh et cTh sont liées au type de virage effectué (qui peut être sec ou doux, par exemple).

Si la règle souhaitée a bien été établie par le processus, celui-ci a également mis en évidence la pertinence d'une deuxième règle, similaire, mais basée sur le dérapage : l'écart-type de cette règle, d'environ 5s, est certes plus important que celui de la règle ayant pour paramètre l'assiette latérale, mais d'un ordre de grandeur inférieur à ceux des deux autres règles, d'environ 30s. Celles-ci, basées sur le temps et la position selon l'axe Y, sont manifestement incohérentes. On a pu en conclure que les virages n'étaient pas parfaitement coordonnés ; de plus le degré de non-coordination peut être quantifié, au moyen des seuils de cette règle.

On a alors testé la règle établie et vérifiée sur l'ensemble des vols experts sur un nouvel ensemble de vols.

Les résultats de l'application de la règle obtenue à l'ensemble des vols (vols tests et vols experts) sont présentés dans les tables 4(a) et 4(b) page suivante.

Les légères différences de l'ordre de la seconde (la valeur du pas de temps de la mesure) entre les deux dates de début ne sont pas significatives, et les débuts de virages qui ont été identifiés correspondent avec ceux donnés par des experts. Une étude plus fine des différences entre expertises et prédictions sera bien entendu à mettre en place quand nous traiterons d'un nombre plus conséquent de manœuvres.

	sT_{exp}	sT_{reg}		sT_{exp}	sT_{reg}
Tho21	23	22	Lau13	22	22
Xav03	27	26	Lau11	22	21
Xav15	23	25	Xav01	28	29
Tho13R	25	24	Lau21	20	17
Xav11	24	23	Lau19	21	20
Tho03	49	48	Lau05	27	26
Tho11	23	24	Lau03	26	24

(a) Aux vols experts

(b) Aux vols tests

Tableau 4. Résultats de l'application de la règle découverte

3.2.2. Critères d'évaluation

Ici, du fait de leur utilisation simple et répandue, nous avons utilisé les deux indicateurs numériques d'écart-type et d'amplitude entre les seuils pour caractériser la conformité et la pertinence d'une règle, obtenant des résultats satisfaisants.

Ces critères pourront toutefois être améliorés. En particulier, dans l'évaluation de la conformité, il semble envisageable de ne pas tenir compte des valeurs extrêmes ; on pourrait également normaliser l'écart-type ainsi que l'amplitude en les rapportant à une grandeur caractéristique de la variation du paramètre.

4. Conclusion et perspectives

L'étape maïeutique mise en œuvre dans le travail présenté ici est réalisée d'une manière encore très guidée. En effet, la forme de la règle recherchée est déjà connue, en plus d'être relativement simple (en particulier, elle ne met en jeu qu'un seul des paramètres enregistrés) : il ne nous reste qu'à en déterminer les seuils.

La prochaine étape de notre travail sera de relâcher les contraintes sur l'étape maïeutique et rendre la production de règles la plus automatisée possible. Pour cela, il nous faut :

- élargir la base de règles pour rendre compte d'un plus large éventail de manœuvres (par exemple, on pourra développer des règles à plusieurs paramètres). Il faudra développer une méthodologie de choix et d'évaluation du type de règle à appliquer ;

- rendre plus robustes les algorithmes de détermination des seuils, afin de permettre le traitement d'ensembles de vols pouvant comporter quelques manœuvres pathologiques et la diversification des types de vols testés, en variant les conditions extérieures (conditions météorologiques ou conditions de visibilité...), les conditions matérielles (utilisation de différents types d'appareils...) ou les conditions humaines (examen de vols dans différents états physiologiques du pilote, par exemple).

A plus long terme, nos travaux porteront sur l'étape de reconstitution, dans laquelle il s'agira de reconnaître des liens entre les règles vérifiées.

5. Bibliographie

- [AMI 05] AMIDAN B., FERRYMAN T., « Atypical Event and Typical Pattern Detection within Complex Systems », IEEE Aerospace Conference, Manhattan Beach, 2005.
- [BAR 03] BARBERÀ S., « A Theorem on Preference Aggregation », Centre de Referència en Economia Analítica, Barcelona Economics Working Paper Series édition, 2003, Working Paper n° 166.
- [BON 08] BONNET P., « Un langage de description de l'activité de pilotage, l'analyse systématique des vols et l'étude l'activité. », ONERA, Mémoire de Formation 1/13534, 2008.
- [BUD 09] BUDALAKOTI S., SRIVASTAVA A., OTEY M., « Anomaly Detection and Diagnosis Algorithms for Discrete Symbol Sequences with Applications to Airline Safety », 2009.
- [CAF 09] CAFFIAU S., GIRARD P., GUITTET L., SCAPIN D., « Hierarchical Structure : A Step for Jointly Designing Interactive Software Dialog and Task Model », BERLIN/HEIDELBERG S., Ed., *HCI International 2009*, vol. LNCS 5611, 2009, p. 667-673.
- [GON 08] GONZALEZ V., « Expérimentation sur l'évaluation des qualités de vol hélicoptère en environnement visuel dégradé. », ONERA, Mémoire de DESS 3/13534, 2008.
- [LEB 00] LE BLAYE P., CHAUDRON L., GRAU J.-Y., « REX : a human factor flight safety research program. », ICAS'2000, 28th Aug.- 1st Sept. Harrogate, United Kingdom, 2000.
- [STA 07] STATLER I. C., « The Aviation System Monitoring and Modeling (ASMM) Project: A Documentation of Its History and Accomplishments: 1999-2005 », http://www.nasa.gov/pdf/225024main_TP-2007-214556%20ASMM_Project.pdf, 2007.