

# Extension d'un modèle de visualisation pour la caractérisation d'interfaces graphiques dynamiques

*Christophe Hurter*

DGAC DSNA DTI R&D  
LIIHS/IRIT  
7, Avenue Edouard Belin  
31055, Toulouse, France  
christophe.hurter@aviation-civile.gouv.fr

*Stéphane Conversy*

ENAC  
LIIHS/IRIT  
7, Avenue Edouard Belin  
31055, Toulouse, France  
stephane.conversy@enac.fr

## RESUME

Les systèmes de contrôle du trafic aérien présentent des informations en utilisant de multiples variables visuelles. Dans cet article, nous caractérisons ces systèmes en utilisant le modèle de Card, Mackinlay et Bertin. La spécificité des visualisations étudiées nous amène à étendre ce modèle en différenciant les formes codant l'information volontairement, des formes générées par le processus d'émergence de la Gestalt, et en explicitant le rôle du temps dans la dynamique de l'interface. Ces travaux permettent de caractériser plus précisément les visualisations, d'affiner notre compréhension des transformations qui génèrent une visualisation, ainsi que le rôle de la perception dans l'interprétation d'une visualisation.

**MOTS CLES :** Visualisation d'informations, taxonomie, variables visuelles, sémiologie graphique

## ABSTRACT

The air traffic control systems display information using multiple visual variables. In this article, we characterize these systems using Card, Mackinlay and Bertin model. The specificity of the visualizations we studied leads us to extend this model by clarifying the role of time in the dynamics of the interface, and by differentiating the forms coding information deliberately, from the forms generated by the emergence process of the Gestalt. This work helps characterize visualizations more precisely, refine our understanding of the transformations that generate visualization, as well as the role of perception in the interpretation of a visualization.

**CATEGORIES AND SUBJECT DESCRIPTORS:** A.1 [general Literature]: Introductory and survey; H5.0 [InformationSystems]: Information interfaces and presentation|General.

**GENERAL TERMS:** Theory, Measurement, Design.

**KEYWORDS:** Information Visualization, taxonomy, visual variables, semiology.

## INTRODUCTION

Le domaine de la visualisation d'information a principalement pour objet d'étude les systèmes dédiés à l'exploration de données. Les systèmes de contrôle du trafic aérien (ATC, Air Traffic Control) utilisent de nombreuses variables visuelles, et ils sont très dynamiques. Ils forment une classe de visualisation que l'on classe de « supervision » car l'utilisateur analyse mais n'intervient pas directement sur les données et leur transformation. La caractérisation de ces supervisions est importante : elle permettra de construire un catalogue de solutions, de comparer les images et d'établir des liens entre elles, et d'alimenter le processus de conception. Des outils de caractérisation de visualisation existent [3], mais les spécificités des visualisations étudiées nous ont conduit à en trouver les limites : ils ne permettent pas de caractériser l'ensemble des informations présentes à l'écran, ni l'ensemble des processus engendrant la dynamique de l'image.

Cet article présente l'utilisation et l'extension d'une taxonomie de visualisation [3]. La première partie est consacrée à l'application aux images ATC du modèle de Card et Mackinlay (C&M). Dans la deuxième partie, nous montrons pourquoi le modèle est trop limité pour permettre l'étude et la comparaison de la comète radar, un élément essentiel des images ATC. Enfin, la troisième partie présente deux nouvelles caractérisations de la dynamique des visualisations.

## LE MODELE DE CARD ET MACKINLAY

Le modèle de C&M [3] permet de caractériser une large gamme de visualisations. Il se base sur une représentation sous forme de matrice (Tableau 1). Les lignes correspondent aux données d'entrées. La colonne D indique le type de la donnée (Nominale, Ordonnée, Quantitative)[2]. F est une fonction ou un filtre qui transforme ou crée le sous ensemble D'. A l'instar de D, D' est typé (N,O,Q). Les colonnes X, Y, Z, T, R, -, [] sont dérivées des variables visuelles de Bertin [2]. L'image a trois di-

mensions : x, y, z plus le temps T. R correspond à la perception rétinienne qui explicite la méthode employée pour représenter visuellement l'information (couleur, forme, taille...). Les liens entre les entités graphiques sont notés avec -, et la notion d'encapsulation est symbolisée par []. Enfin une distinction est faite si la représentation de la donnée est traitée par notre système perceptif de manière automatique ou contrôlée.

Name	D	F	D'	Perception auto- matique				Perception contrôlée				
				X	Y	Z	T	R	-	[]	CP	

Tableau 1 : le modèle de représentation de Card et Mackinlay

En général, il est nécessaire d'utiliser plusieurs transformations pour décrire intégralement une visualisation. Implicitement, c'est la fonction principale de chaque visualisation que le tableau de C&M explicite. Par exemple, la fonction principale de la caractérisation par C&M de l'Hyperbolic Browser [6] permet de décrire les liens et les nœuds. Une fonction secondaire, non décrite, transforme le nom des nœuds en texte à l'écran. Nous définissons la fonction principale comme celle qui définit le mieux le but de la visualisation.

### APPLICATION DU MODELE DE C&M

Dans le domaine de l'ATC, les données proviennent soit des données radar (Tableau 2 et Figure 1), soit du plan de vol de l'avion (succession de points de référence que doit suivre l'avion pendant son vol).

Données	Détails	Type
Code transpondeur	L'identifiant de l'avion	N
X	Position Longitude	Q
Y	Position Latitude	Q
Vitesse Sol		Q
AFL	Niveau de vol (altitude)	Q
Taux de montée	Vitesse verticale	Q
Temps	Heure du plot radar	Q

Tableau 2 : Structure des données radar



Figure 1 : transformation des données pour l'ATC

Nous avons appliqué ce modèle à quatre visualisations ATC. Seuls les points les plus démonstratifs figurent dans cet article. L'étude de la comète de deux visualisations permet d'appliquer le modèle et de mettre en évidence ses limites.

Le Tableau 3 énumère les légendes que nous utilisons pour la caractérisation des visualisations.

L'image radar est le type de représentation principal utilisé par les contrôleurs aériens: elle représente la position des avions dans l'espace aérien. Le premier système étudié est ODS (Operational input and Display System), qui est une vue de dessus du trafic courant (Figure 4). ODS est le système opérationnel utilisé dans les centres de contrôle. Le deuxième est ASTER (Assistant for Terminal Sectors) [1], qui est une vue en coupe verticale d'un secteur de contrôle (Figure 3). ASTER est en cours de conception, et est conçu pour être utilisé à proximité des aéroports, lorsque les vols changent d'altitude après le décollage ou avant l'atterrissage.

L	Line
S	Size
f	Function
N, O, Q	Nominal, Ordered, Quantitative
Lon, Lat	Longitude, Latitude
P	Point
O	Orientation

Tableau 3 : Légende pour la caractérisation des visualisations

### La piste radar et les comètes

Les deux visualisations représentent les vols sous forme de « piste radar ». Le terme de « piste radar » ne fait pas référence à une zone de décollage et d'atterrissage des avions mais au système de pistage radar de la position des avions. La Figure 2 présente la piste radar ODS. La piste radar ASTER est similaire, et les éléments graphiques présentés par la suite pour comprendre la visualisation en font partie. La position actuelle de l'avion est symbolisée par un triangle que l'on appelle le *symbole tête de chaîne*. Les informations de vitesse, de niveau de vol (altitude) et de nommage de l'avion sont sous forme textuelle et regroupées dans l'*étiquette*. Le *leader* connecte le symbole tête de chaîne à l'étiquette. Le *vecteur vitesse* part de la position de l'avion et s'arrête à la future position de l'avion dans 1, 3, 6 ou 9 minutes si les paramètres de vol ne sont pas modifiés (cap, vitesse).

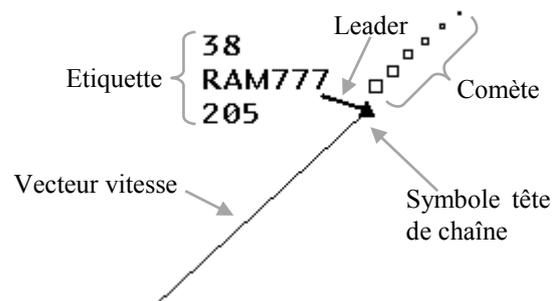


Figure 2 : La piste radar ODS

Dans ODS, les positions passées de l'avion sont représentées par des carrés de plus en plus petits en fonction de leur ancienneté. L'ensemble de ces positions passées forme la *comète*, par analogie à la traînée laissée dans le ciel par une comète réelle. Les contrôleurs visualisent au travers de la comète la vitesse du vol, ainsi que son évolution en vitesse et en direction (respectivement grâce à

l'élongation, l'accroissement de l'écart entre les positions passées, et la courbure de la comète).

ASTER affiche un symbole qui ressemble à la « comète » ODS (Figure 3) : il s'agit d'un triangle allongé, dont la longueur dépend de la vitesse et formés par des lignes parallèles de plus en plus courtes. La position passée des avions ne figure pas dans la comète ASTER; la position des lignes n'est pas relative à la position passée, il s'agit d'une texture dont l'élongation dépend de la taille du triangle allongé, et donc de la vitesse de l'avion.

Après cette description informelle, nous allons essayer dans les sections suivantes de caractériser les comètes.

### Caractérisation de la comète ASTER



Figure 3 : ASTER



Figure 4 : ODS

La comète d'ASTER (Figure 3) est codée par une forme positionnée en (x, y) à l'écran. Le x écran est le résultat d'une projection sur un plan vertical, et le y écran code l'altitude. La taille de la comète est fonction de la vitesse sol. La vitesse verticale est codée par l'orientation de la comète. Le Tableau 4 décrit, avec le modèle de C&M, la fonction principale de la comète ASTER.

Name	D	F	D'	X	Y	Z	T	R	-	□	CP
Plot	Lat Lon (QxQ)	f	Q	P				Shape			
Afl	Q	f	Q		P						
Vz	Q	f	Q					O			
V	Q	f	Q					S			

Tableau 4 : modèle de la comète d'ASTER

### Caractérisation de la comète ODS

La comète ODS (Figure 4) en elle-même n'est pas une implantation dans le sens de Bertin [2] : les positions passées de l'avion se groupent par effet de continuité Gestalt [4], ce qui fait émerger une ligne avec ses caractéristiques propres (courbure, régularité de la texture formée par les points, etc.). Il n'est donc pas possible de la caractériser directement à l'aide du modèle de transformation de C&M. En revanche, on peut caractériser les implantations qui la composent (Tableau 4), c'est-à-dire les formes qui codent les positions passées des vols. Pour ce faire, nous introduisons la notion de temps courant (Tcur), qui permet de spécifier le moment de la situation de trafic à l'écran. La taille d'un carré est linéairement proportionnelle à la différence entre le temps courant et le temps d'occurrence du carré. Les carrés postérieurs au temps courant sont filtrés, ainsi que les carrés trop anciens.

Name	D	F	D'	X	Y	Z	T	R	-	□	CP
X	Q Lon	f	Q Lon	P				Shape	emerge		
Y	Q Lat	f	Q Lat		P						
T	Q	f(Tcur)	Q					S			

Tableau 5 : Les carrés formant la comète d'ODS

Le Tableau 4 ne peut pas intégrer le résultat de l'analyse par les contrôleurs de l'évolution des positions passées de l'avion (vitesse, évolution en vitesse et direction). Ainsi, dans la Figure 4, la forme de la comète indique que l'avion a tourné de 90° à droite et a accéléré. Ces données sont émergentes de la comète. En d'autres termes, elles n'ont pas servi directement à générer l'image. La caractérisation de C&M ne permet pas de caractériser ces informations essentielles pour les utilisateurs, et donc ne permet pas de comparer objectivement des visualisations différentes. La comète ODS est plus riche que la comète ASTER, la caractérisation de C&M indique l'inverse. La richesse des informations transmises par chacune des représentations n'est donc pas directement interprétable dans les caractérisations: le modèle de C&M n'est pas adapté.

### Intérêt des caractérisations

La caractérisation du vecteur vitesse ODS (Tableau 6) montre que sa taille dépend de la vitesse du vol.

Name	D	F	D'	X	Y	Z	T	R	-	□	CP
V	Q	f	Q					S			
direction		f						O			

Tableau 6 : Vecteur vitesse ODS

Par ailleurs, la même information est codée par la longueur de la comète d'ASTER. La comète d'ASTER donne donc la même information que le vecteur vitesse de la piste radar ODS. La comète ASTER est donc équivalente à un vecteur vitesse ODS, modulo une translation. C'est bien la caractérisation et la comparaison qui permet de lier les deux visualisations, et donc de donner aux concepteurs des éléments d'analyse qui permettent de faire des choix de conception. Ce résultat montre l'importance du travail réalisé.

### LA DYNAMIQUE DE L'IMAGE

Dans les sections précédentes, nous avons décrit des visualisations statiques. Dans cette section, nous explicitons l'utilisation du temps pour caractériser la dynamique des visualisations ATC.

L'aspect dynamique d'ODS provient de deux phénomènes différents. Premièrement, il est dû aux mises à jour régulières des données. Chaque mise à jour provoque une transformation de ces données et génère une nouvelle image. C'est cette succession d'images qui génère la perception du mouvement des symboles tête de chaîne. Deuxièmement, ODS utilise des animations pour transmettre des informations. Par exemple, le clignote-

ment d'un élément graphique permet de refléter un état particulier.

Le temps agit donc au niveau des données, et au niveau de l'image. Nous considérons que le temps est manipulable à ces deux niveaux. Par exemple, il peut être suspendu au niveau de la mise à jour des données. Le trafic est figé, mais pas la représentation : les animations de l'image continuent de tourner (exemple : clignotement de l'étiquette). Le temps peut être choisi afin de visualiser une situation de trafic à un temps révolu. Cette visualisation donne toujours des informations par l'animation : la fréquence des clignotements éventuels n'est pas impactée par la manipulation du temps des données. L'image peut aussi être figée, sans arrêter la mise à jour des données. Les animations comme le clignotement des étiquettes sont alors arrêtées, mais les symboles tête de chaîne restent animés.

Dans la taxonomie de C&M, la seule notion de temps décrite est celle de la représentation sur l'écran à un instant donné (le T du Tableau 1) : il peut être considéré comme le numéro de l'image dans un film, dont l'utilisateur peut lancer le visionnage. Une façon de simuler la dynamique du symbole tête de chaîne d'ODS, est d'associer chaque donnée radar à un numéro d'image du film : visualiser le trafic consiste à jouer le film (Tableau 7). Même s'il est possible de simuler la dynamique grâce à cette caractérisation, elle n'est pas conforme à la réalité : c'est bien l'arrivée de nouvelles données qui modifie la visualisation.

Name	D	F	D'	X	Y	Z	T	R	-	□	CP
X	Q Lon	f	Q Lon	P				Shape			
Y	Q Lat	f	Q Lat		P						
T	Q	f	Q				P				

Tableau 7: symbole tête de chaîne dynamique

### Extension du modèle

A partir d'un modèle existant [4], nous ajoutons la mise à jour de la visualisation avec l'arrivée d'une nouvelle donnée (Figure 5).

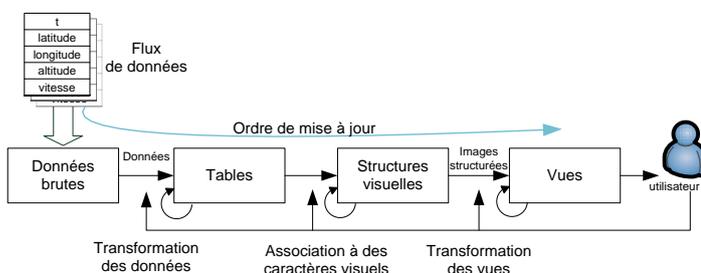


Figure 5 : modèle de traitement de données pour l'affichage

Nous renommons la colonne T du modèle de C&M en Fr pour indiquer le numéro de frame affiché à l'écran. Nous

ajoutons la colonne A pour les animations indépendantes de la mise à jour des données. Ce nouveau modèle (Tableau 8) ne fait pas apparaître l'animation due à la mise à jour des données car elle est implicite.

Name	D	F	D'	X	Y	Z	Fr	A	R	-	□	CP

Tableau 8: modèle étendu

### CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Dans cet article, nous avons appliqué le modèle de Card et Mackinlay à des visualisations riches, dynamiques, et à plusieurs niveaux de description (principaux et secondaires). Nous avons montré que ce modèle, originellement conçu pour des visualisations dédiées à l'exploration de données, est adapté à la caractérisation des fonctions principales de systèmes de supervision dynamiques. Cependant, la fonction de transformation ne recense pas toutes les informations qui sont données par une visualisation, et ne permet donc qu'une comparaison partielle. Nous avons introduit la notion de forme émergente, c'est-à-dire de forme graphique engendrée par la perception et qui permet de caractériser des informations absentes des données. Enfin, nous avons précisé le rôle du temps, afin de caractériser la dynamique d'une visualisation.

Pour compléter notre étude, nous comptons appliquer le modèle à d'autres visualisations en ayant pour objectif une complète caractérisation des entités graphiques. Ce travail permettra de trouver d'autres informations émergentes, d'enrichir le modèle, et de construire une taxonomie afin de comparer les visualisations.

### BIBLIOGRAPHIE

1. Benhacene, R. 2002, *A Vertical Image as a means to improve air traffic control in E-TMA*, Irvine-California, USA, DASC-Digital Avionics Systems Conference.
2. Bertin, J. 1967 *La sémiologie graphique*. Editions Mouton, Gauthier-Villars, Paris.
3. Card, S.K., Mackinlay, J.D. 1997 The Structure of the Information Visualization Design Space. *In Proc. Information Visualization Symposium '97*, pages 92-99.
4. Card, S., Mackinlay, J., Shneiderman, B. 1998 *Information Visualization Readings in Information Visualization: Using Vision to Think*. Morgan Kaufman, introduction p 1-34
5. Koffka, K., *Principles of Gestalt Psychology* Routledge 1935.
6. Lamping J., Rao R., Pirolli P., *A focus + context technique based on hyperbolic geometry for visualizing large hierarchies*, in CHI '95, ACM.