

# 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 quatre de 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, en précisant les relations hiérarchiques entre éléments graphiques, 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 four of these systems using Card, Mackinlay and Bertin model. The specificity of the studied visualizations leads us to extend this model by clarifying the role of time in the dynamics of the interface, by specifying the hierarchical relations between graphic elements, and by differentiating the forms coding information deliberately, from the forms generated by the emergence process of the Gestalt. This work permits to characterize visualizations more precisely, to refine our understanding of the transformations which 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

L'analyse et la communication sont les deux buts essentiels des systèmes de visualisation [5]. Dans le cas de l'analyse, une visualisation permet de trouver des relations entre des données en percevant des structures graphiques émergentes, comme un alignement dans un nuage de points. Dans le cas de la communication, un utilisateur qui a mis au jour ces relations les présente dans un document afin de transmettre un message à ses lecteurs.

Les systèmes de contrôle du trafic aérien (ATC, Air Traffic Control) présentent des informations en utilisant de nombreuses variables visuelles. En ce sens, elles sont assimilables à des systèmes de visualisation pour la communication d'informations à destination des contrôleurs. Les nombreux projets de création ou de refonte de visualisation dans ce domaine ont mis en évidence le manque de caractérisation des visualisations existantes. Pourtant, disposer d'une telle caractérisation permettrait aux concepteurs de ne pas réinventer ces dernières, ou au contraire de réutiliser des visualisations intéressantes.

Cet article présente l'utilisation et l'extension d'une taxonomie de visualisation [7] pour caractériser des visualisations ATC. La première partie est consacrée à l'état de l'art dans le domaine de la représentation d'informations, suivie de l'étude détaillée du modèle de caractérisation que nous utilisons. La deuxième partie présente quatre visualisations différentes et leur caractérisation. Dans la troisième partie, nous présentons

les ajouts que nous avons dû apporter à cette taxonomie pour caractériser les spécificités de ces visualisations.

### ETAT DE L'ART

Bertin a introduit « la graphique » [5], une technique de représentation qui permet l'analyse et la communication. La graphique permet de décrire les représentations en utilisant trois types de marques, ou d'« implantations » : le point, la ligne et la zone. L'implantation s'inscrit sur une feuille de papier à trois dimensions : une longueur (x), une hauteur (y) et une « profondeur » (z). La profondeur n'est pas la représentation d'une distance par rapport à la surface de la feuille, mais l'utilisation de variables visuelles comme la taille, le grain, la luminosité, la couleur, l'orientation et la forme. Les variables visuelles peuvent être ordonnables (O, « ceci est avant cela »), proportionnelles (Q, « ceci est n fois cela »), ou nominale (N, « ceci est différent de cela »).

Mackinlay a poursuivi les travaux de Bertin en présentant des outils permettant la génération et la validation d'interfaces graphiques [17]. Il développe notamment un langage graphique pour codifier une représentation, et construit des échelles d'expressivité et d'efficacité pour évaluer des conceptions alternatives.

Shneiderman a classifié les visualisations en fonction du nombre de dimensions des données affichées, des représentations sous formes d'arbres et sous forme de réseaux. Il a continué ses travaux en identifiant sept tâches minimales pour assurer la visualisation des données [22].

Card et Mackinlay (C&M) ont réalisé une taxonomie de différentes représentations graphiques d'informations sous forme de tableau [7]. La taxonomie s'appuie sur une partie de la théorie de Bertin. Elle permet aux auteurs de caractériser un ensemble de visualisations connues, comme les matrices ordonnables [5, 18], les TreeMap [13] ou encore les ConeTree [19]. Nous avons utilisé le modèle de C&M que nous le décrivons plus en détail dans la section suivante.

Card, Mackinlay et Shneiderman, ont réalisé un état des lieux des connaissances dans le domaine des visualisations [6]. Ils ont créé un modèle (figure 1) qui décrit les visualisations comme une chaîne de traitements des données brutes jusqu'à l'affichage. Les traitements s'appuient sur des structures de données intermédiaires manipulables par l'utilisateur. Chi a détaillé les différentes étapes de ce modèle [9, 8]. Par la suite, nous nommons *transformation* cette chaîne de traitements.

Baudel utilisé ce modèle pour introduire la notion de visualisation compacte pour réaliser des logiciels de visualisation d'informations [1]. Fekete a réalisé une toolkit dans ce domaine [10] qui a été récemment utilisé pour l'analyse de vues matricielles [11].

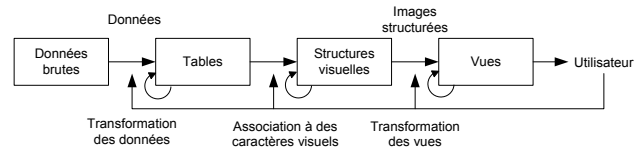


Figure 1 : modèle de traitement de données pour l'affichage [6]

### LE MODELE DE CARD ET MACKINLAY

Nous utilisons le modèle de C&M [7] car il a permis de caractériser une large gamme de visualisations. Le modèle se base sur une représentation sous forme de matrice (Tableau 1) [7]. Les lignes correspondent aux données d'entrées. La colonne D indique le type de la donnée (Nominale, Ordonnée, Quantitative). F est une fonction ou un filtre qui transforme ou qui 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. L'image a trois dimensions : 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. La perception automatique correspond aux variables pré-attentives [23] ; elle ne demande pas d'effort cognitif particulier. La perception automatique est hautement parallèle mais pauvre en information. La perception contrôlée concerne la lecture d'un texte. C'est une activité qui mobilise entièrement le système cognitif, et qui laisse peu de place à d'autres activités perceptives. Les informations transmises sont précises, mais leur temps de traitement est très lent.

| Name | Perception auto-<br>matique |   |    |   |   |   |   | Perception<br>contrôlée |   |    |    |
|------|-----------------------------|---|----|---|---|---|---|-------------------------|---|----|----|
|      | D                           | F | D' | 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 [8] 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. La section suivante décrit les fonctions principales de quatre visualisations ATC.

### APPLICATION DU MODELE A L'ATC

Généralement, les modèles de visualisation décrivent des systèmes dédiés à la recherche d'information. Les visua-

lisations ATC sont différentes des systèmes de visualisation classiques sur plusieurs points. Premièrement, elles sont dynamiques : elles évoluent au cours du temps. Deuxièmement, elles sont considérées comme des systèmes de supervisions, car les transformations ne sont pas modifiées par l'utilisateur. Enfin, elles se ressemblent car elles se basent sur les mêmes données, ce qui nous oblige à plus de précision pour différencier les caractéristiques de chaque représentation.

Les informations affichées proviennent soit des données radar (Tableau 2) (Figure 2), soit du plan de vol de l'avion (succession de points de référence que doit suivre l'avion pendant son vol). Comme dans le modèle de la Figure 1, nous considérons que les données sont stockées dans des tables, dont chaque ligne contient un enregistrement.

| 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      | O    |

Tableau 2 : Structure des données radar

Nous caractérisons quatre visualisations en utilisant le modèle de C&M: ODS (Operational input and Display System), MAESTRO (Moyen d'Aide pour Ecoulement Séquencé du Trafic Avec recherche d'Optimisation), ASTER (Assistant for TERminal Sectors) et ERATO (En Route Air Traffic Organizer). Pour simplifier notre approche, nous considérons dans un premier temps que toutes ces représentations sont statiques et nous nous intéressons uniquement à leur fonction principale.

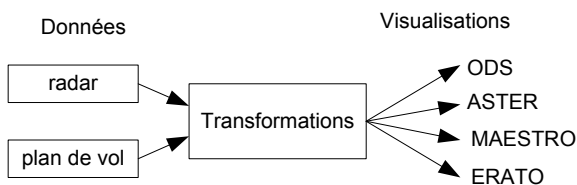


Figure 2 : transformation des données pour l'ATC

|          |                                |
|----------|--------------------------------|
| L        | Line                           |
| S        | Size                           |
| Sh       | Shape                          |
| f        | Function                       |
| N, O, Q  | Nominal, Ordered, Quantitative |
| Lon, Lat | Longitude, Latitude            |
| Pt       | Point                          |
| Orien    | Orientation                    |
| T        | Text                           |

Tableau 3 : Légende pour la caractérisation des visualisations

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

### Image radar : ODS

L'image radar est la visualisation principale utilisée par les contrôleurs. Elle représente la position des avions dans l'espace aérien, vue du dessus. Le système utilisé en opérationnel est ODS (Figure 3). Une scène graphique ODS est une hiérarchie d'entités regroupant des formes graphiques. Ces entités ont un sens pour le contrôleur, qui les désigne par les noms donnés en Figure 4.



Figure 3 : ODS

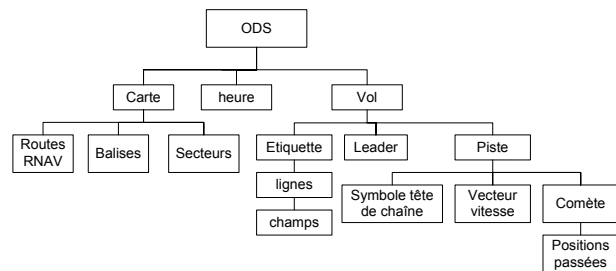


Figure 4 : Vue hiérarchique des entités graphiques d'ODS

La fonction principale d'ODS est l'affichage de la position des avions vus du dessus. Elle représente une position sous forme d'un point, auquel est liée une étiquette comportant des informations sur le vol. D'autres éléments graphiques sont aussi affichés, comme les points RNAV (balises de radionavigation), routes, cartes, secteurs etc. Nous ignorons ces éléments dans cet article.

La position d'un vol est donnée par sa latitude et sa longitude. La fonction de transformation  $f$  est une simple mise à l'échelle sur l'écran. La représentation de la position de l'avion a comme implantation le point avec une forme de triangle non orientée (voir Tableau 4).

| Data | D        | F | D'       | X | Y | Z | T | R     | - | □ | CP |
|------|----------|---|----------|---|---|---|---|-------|---|---|----|
| X    | Q<br>Lon | f | Q<br>Lon | P |   |   |   | Shape |   |   |    |
| Y    | Q<br>Lat | f | Q<br>Lat |   | P |   |   |       |   |   |    |

Tableau 4 : ODS

### Image verticale : ASTER

La fonction principale d'ASTER est d'afficher une vue en coupe verticale d'un secteur de contrôle. Elle est par-

ticulièrement utile à proximité des aéroports, lorsque les vols changent d'altitude après le décollage ou avant l'atterrissage (Figure 5).

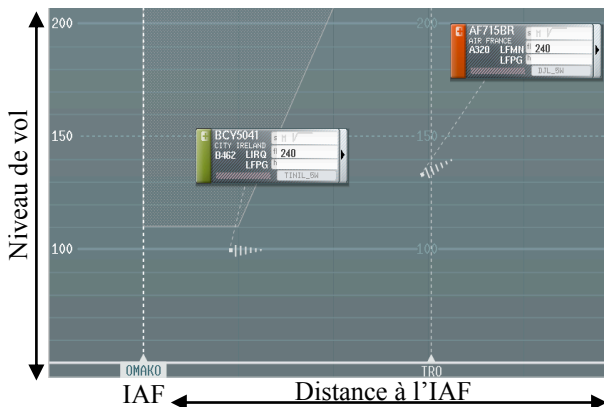


Figure 5 : ASTER [4]

ASTER affiche sur l'axe des ordonnées de l'écran le niveau de vol (AFL, Actual Flight Level) des avions et sur l'axes des abscisses la distance à un IAF (Initial Approach Fix, point de radio navigation). Une forme graphique (dite « comète ») représente la position de l'avion issue des données radar (voir Tableau 5).

| Data | D                   | F | D'       | X | Y | Z | T | R     | - | □ | CP |
|------|---------------------|---|----------|---|---|---|---|-------|---|---|----|
| Plot | Lat<br>Lon<br>(QxQ) | f | distance | P |   |   |   | Shape |   |   |    |
| Afl  | AFL                 | f | Q        |   | P |   |   |       |   |   |    |

Tableau 5 : ASTER

### Séquence : MAESTRO

MAESTRO est un logiciel dédié à la régulation du trafic aérien des aéroports de Roissy, Orly et du Bourget. Il permet de créer des séquences d'atterrissage. Dans la Figure 6, les deux colonnes affichent respectivement les séquences de Roissy et du Bourget.

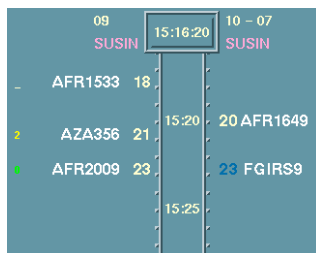


Figure 6 : MAESTRO

La fonction principale de MAESTRO est de positionner des avions (callsign) dans une séquence chronologique d'atterrissage (runway). La liste des avions à l'atterrissage est affichée sur un axe des temps vertical avec pour chacun son heure prévue (land time) et le nombre de minutes à perdre ou à gagner pour respecter la séquence (delta time). La couleur permet de coder la quantité de temps à perdre (Tableau 6).

| Data        | D | F | D' | X | Y | Z | T | R | - | □ | CP   |
|-------------|---|---|----|---|---|---|---|---|---|---|------|
| Runway land | N |   | N  | N |   |   |   |   |   |   | Text |
| Time land   | Q |   | Q  |   | P |   |   |   |   |   |      |
| Delta time  | Q |   | Q  |   | P |   |   | C |   |   |      |
| Callsign    | N |   | N  |   | P |   |   |   |   |   |      |

Tableau 6 : MAESTRO

### Agenda ERATO

Le passage de deux avions en dessous des normes de séparation verticale et horizontale est nommé un conflit. La fonction principale de l'agenda ERATO est d'afficher une liste des conflits futurs détectés par le contrôleur ou la machine. L'heure prévue du conflit (t) est notée par un point qui est relié au détail du conflit (étiquette) (Tableau 7).

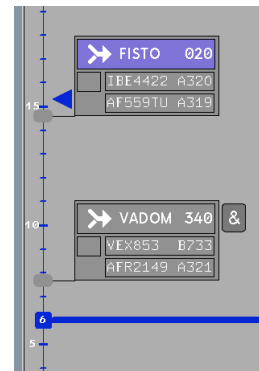


Figure 7 : Agenda ERATO [16]

| Data      | D | F | D' | X | Y | Z | T | R | - | □ | CP |
|-----------|---|---|----|---|---|---|---|---|---|---|----|
| t         | Q | f | Q  |   | P |   |   |   |   |   |    |
| étiquette |   |   |    |   |   |   |   | L |   |   | T  |

Tableau 7 : Agenda ERATO

### Résultats

Nous avons réussi à appliquer le modèle de C&M à quatre visualisations ATC. Ce résultat montre que le modèle est adapté à la caractérisation des fonctions principales de ces visualisations. Par ailleurs, les caractérisations d'ODS, d'ASTER, de MAESTRO et de l'agenda ERATO constituent une première étape dans la construction d'une taxonomie des visualisations ATC.

### EXTENSION DU MODELE

Nous avons appliqué le modèle de C&M aux fonctions principales. Dans cette section, nous montrons que le modèle de C&M ne permet pas la caractérisation de toutes les transformations spécifiques à chaque visualisation. Nous étendons donc le modèle pour les caractériser, et permettre leur comparaison.

### Fonction secondaire : la piste radar ODS

L'ensemble des informations graphiques concernant un vol s'appelle « la piste radar » (Figure 8). Ce terme est historique et ne fait pas référence à zone de décollage et

d'atterrissage des avions mais au système de suivi radar de la position des avions.

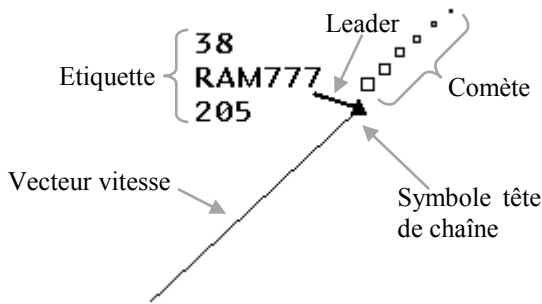


Figure 8 : La piste radar

La position actuelle de l'avion est symbolisée dans notre exemple par un triangle que l'on appelle le *symbole tête de chaîne*. Les positions passées de l'avion sont représentées par des carrés de plus en plus petits en fonction de leur ancienneté. L'ensemble des positions passées forme la *comète*. 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).

**Un conteneur : l'étiquette**

L'étiquette est un groupe formé par l'alignement vertical des lignes (Figure 8). Pour la caractériser, nous introduisons une précision sur la propriété d'encapsulation (Tableau 8):

- Deux entités graphiques sont groupées quand il existe une relation parent fils ([ ] P-F) entre elles. Par exemple les lignes de l'étiquette radar sont des filles de l'étiquette. Il s'agit de l'encapsulation [ ] définie par C&M.
- L'étiquette est constituée de lignes de texte qui sont groupées par leur justification à gauche. La forme, la couleur, la taille peuvent aussi être des variables permettant cette agrégation et font apparaître une relation frère-frère ([ ] F-F).

| Data        | D | F | D' | X       | Y      | Z | T | R | - | [ ] F-F   | cp   |
|-------------|---|---|----|---------|--------|---|---|---|---|-----------|------|
| speed       | Q |   | Q  | O field | O line |   |   |   |   | Alignment | Text |
| Callsign    | N |   | N  | O       | O+1    |   |   |   |   |           |      |
| AFL         | Q |   | Q  | O       | O+2    |   |   |   |   |           |      |
| Trend       | Q |   | Q  | O+1     | O+2    |   |   |   |   |           |      |
| exit beacon | N |   | N  | O       | O      |   |   |   |   |           |      |

Tableau 8 : Etiquette ODS

**Une forme émergente : la comète ODS**

La comète ODS en elle-même n'est pas une implantation dans le sens de Bertin : les positions passées de l'avion se groupent par effet de continuité Gestalt [8], 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, c'est-à-dire les formes qui codent les positions passées des vols. Ainsi, 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.

| Data | 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 9 : Les carrés formant la comète d'ODS

La comète est perçue comme une entité par les utilisateurs. Elle est essentielle à leur activité. En effet, elle transmet des informations sur la direction de l'avion, son évolution en cap et en vitesse (voire en accélération), et même la catégorie d'avion. En d'autres termes, elle permet de représenter des données qui n'ont pas servi directement à générer l'image. Si l'on veut classifier et comparer les représentations, il est essentiel de faire figurer dans le modèle de caractérisation.

**Comparaison des comètes**

Le Tableau 10 décrit la caractérisation de la comète ASTER. La lecture des Tableau 9 et Tableau 10 ne permet qu'une comparaison partielle des comètes ODS et ASTER. Par exemple, la vitesse de l'avion est codée dans la taille de la comète ASTER, ce qui apparaît dans le Tableau 10. En revanche, la vitesse qui émerge de la comète ODS, n'apparaît pas dans le Tableau 9. Le nombre d'informations transmises par chacune des représentations n'est donc pas directement interprétable à partir des tableaux.

| Data | D             | F | D'              | X | Y | Z | T | R     | - | [ ] | CP |
|------|---------------|---|-----------------|---|---|---|---|-------|---|-----|----|
| Plot | Lat Lon (QxQ) | F | pseudo distance | P |   |   |   | Shape |   |     |    |
| Afl  | Q             | F | Q               |   | P |   |   |       |   |     |    |
| Vz   | Q             | F | Q               |   |   |   | O |       |   |     |    |
| V    | Q             | F | Q               |   |   |   | S |       |   |     |    |

Tableau 10 : modèle de la comète d'ASTER

**La fonction de transformation généralisée**

Nous proposons une autre méthode pour caractériser les entités graphiques émergentes, en inversant le processus

de caractérisation. La méthode consiste à recenser chaque forme graphique importante pour l'activité. Pour chaque entité graphique, il faut déterminer les informations qu'elle transmet, y compris celles qui sont absentes des données radar, comme l'évolution du cap d'un avion. Le Tableau 11 est une synthèse de la caractérisation des entités graphique d'ODS avec le vecteur vitesse, le symbole tête de chaîne, la comète et l'étiquette. La première colonne comporte toutes les données classées par entité graphique. La deuxième colonne donne l'implantation et les variables visuelles utilisées. Enfin, la dernière colonne décrit une fonction pour synthétiser chaque entité graphique : Ligne, Point, Zone. Par exemple, pour le symbole tête de chaîne cette fonction est : Point (X, Y, forme, couleur) avec X et Y la position en latitude et en longitude de l'avion et la forme un triangle. Les données et les formes émergentes sont étiquetées par « Em ».

|                               | Codage                         | Fonction  |
|-------------------------------|--------------------------------|---|
| <b>Vecteur Vitesse</b>        | Ligne                          | line (X, Y, X + a.Vx, Y + a.Vy) a [1, 3, 6,9]   |
| Vitesse de l'avion            | Taille                         |   |
| Cap de l'avion                | Orientation                    |   |
| Position de l'avion           | Position                       |   |
| Etat de l'avion               | Couleur                        |   |
| <b>Symbole tête de chaîne</b> | Point                          | Pt (X, Y, forme)  |
| Position de l'avion           | Position                       |   |
| Etat de l'avion               | Couleurs et formes             |   |
| <b>Comète</b>                 | liste de points -> ligne -> Em | Pt (X(t), Y(t), forme (size(t)), Pt(X(t-1), Y(t-1), forme (size(t-1)), ... Pt(X(t-n), Y(t-n), forme (size(t-n)) |
| Vitesse de l'avion Em         | Taille                         |   |
| Positions passées             | positions                      |   |
| Tendance de l'avion           | distance entre points          |   |
| Evolution du cap Em           | Forme                          |   |
| Etat de l'avion               | Couleur                        |   |
| <b>Etiquette</b>              | Zone Em                        | Pt (ligne, colonne, texte)  |
| speed                         | Texte                          |   |
| callsign                      | Texte                          |   |
| AFL                           | Texte                          |   |
| Trend                         | Texte                          |   |
| Exit beacon                   | Texte                          |   |

Tableau 11 : Synthèse des entités graphiques d'ODS

| Comète ASTER      | Forme       | Pt(X,Y,taille,orientation,forme) |
|-------------------|-------------|----------------------------------|
| vitesse           | Taille      |                                  |
| Vitesse verticale | Orientation |                                  |

Tableau 12 : comète ASTER

Le Tableau 12 caractérise la comète ASTER avec la fonction de transformation généralisée. La lecture du Tableau 11 et du Tableau 12 permet de constater que la comète ODS transmet plus d'information que la comète ASTER. Il s'agit d'un premier pas vers une classification qui permet de recenser toutes les informations transmises par une visualisation particulière.

### LE TEMPS ET LA DYNAMIQUE DE L'IMAGE

Dans les sections précédentes, nous avons décrit des visualisations statiques. Dans cette section, nous explici-

tons l'utilisation du temps pour caractériser la dynamique des visualisations ATC, en prenant ODS pour exemple.

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 la succession des images qui génère la perception du mouvement des symboles tête de chaîne (Figure 9). Deuxièmement, ODS utilise des animations pour transmettre des informations. Par exemple, les champs des étiquettes peuvent clignoter pour refléter un état particulier (Figure 10).

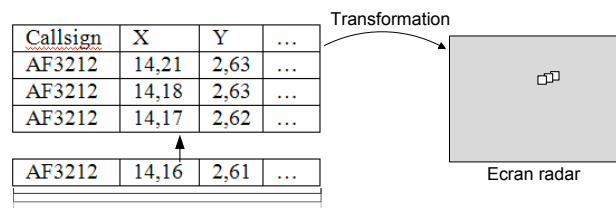


Figure 9 : dynamique due à la mise à jour des données



Figure 10 : dynamique due à l'image

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 modéliser la dynamique du symbole tête de chaîne d'ODS due aux mises à jour des données, est d'associer chaque donnée radar à un numéro d'image du film : visualiser le trafic consiste à jouer le film (Tableau 13).

| Data | D        | F | D'       | X | Y | Z | T | R     | - | □ | CP |
|------|----------|---|----------|---|---|---|---|-------|---|---|----|
| X    | Q<br>Lon | f | Q<br>Lon | P |   |   |   | forme |   |   |    |
| Y    | Q<br>Lat | f | Q<br>Lat |   | P |   |   |       |   |   |    |
| T    | Q        | f | O        |   |   | P |   |       |   |   |    |

Tableau 13: symbole tête de chaîne dynamique

Cependant, il n'est pas possible de modéliser la comète sous cette forme. En effet, le film de l'image est généré en une seule passe de transformation. Chaque ligne de données devrait être représentée autant de fois qu'il y a de carrés dans une comète. Or, une ligne de données ne peut donner qu'une seule marque graphique par transformation. Le temps de la représentation T de C&M n'est donc pas approprié à la modélisation de la dynamique des données.

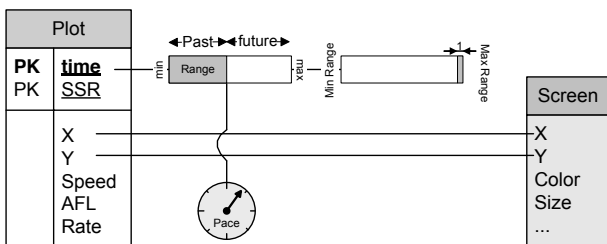


Figure 11 : Dynamique de la tête de chaîne ODS

Nous avons caractérisé cet aspect dynamique d'ODS en utilisant un filtre de transformation des données (F entre D et D' du modèle de C&M, Tableau 1). La Figure 11 illustre le mécanisme de gestion du temps au niveau des données. Les filtres sont modélisés par des RangeSlider. Le filtre de gauche permet de sélectionner les données dont le temps est inférieur au temps courant. Le temps courant est fourni par une horloge (pace). Le filtre de droite permet de choisir le nombre d'élément à afficher. Ses bornes sont celles de la sélection du premier RangeSlider. Pour afficher le symbole tête de chaîne, il faut sélectionner l'élément le plus récent. Pour la comète, il faut sélectionner les 5 éléments les plus récents.

### La dynamique des visualisations

Ainsi, l'étude de la dynamique dans les visualisations ATC, nous a permis d'identifier trois cas d'utilisation du temps:

- Une horloge modifie de façon incrémentale la position des filtres sur les données à afficher (Figure 11). C'est ce qui génère le mouvement du symbole tête de chaîne.

- Une des données de l'enregistrement est liée au numéro de l'image à afficher. Par exemple, s'il s'agit du niveau de vol, l'animation perçue sera un affichage des niveaux de vol inférieurs vers les niveaux de vols supérieurs. On produit alors une visualisation animée par couches (Tableau 14). Il s'agit de la variable T de C&M.

Le choix de l'image à afficher ne dépend d'aucune donnée. C'est le cas d'un choix de design particulier, qui code une information par une dimension de l'animation [20]. L'exemple le plus simple est le cli-gnotement d'un champ de l'étiquette. C'est ce type de codage qui permet de créer des transitions différenciées [21]. Pour modéliser ce type de dynamique, il est nécessaire d'introduire de nouvelles variables visuelles [20].

| Data | D        | F | D'       | X | Y | Z | T | R     | - | □ | CP |
|------|----------|---|----------|---|---|---|---|-------|---|---|----|
| X    | Q<br>Lon | f | Q<br>Lon | P |   |   |   | forme |   |   |    |
| Y    | Q<br>Lat | f | Q<br>Lat |   | P |   |   |       |   |   |    |
| AFL  | Q        | f | O        |   |   | P |   |       |   |   |    |

Tableau 14 : dynamique graphique par couche

## CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Dans cet article, nous avons appliqué le modèle de Card et Mackinlay pour caractériser quatre visualisations du domaine du contrôle aérien. Nous avons montré que ce modèle, originalement conçu pour les visualisations pour 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. Nous avons précisé le caractère relationnel ([F-F, P-F] des conteneurs. Enfin, nous avons précisé le rôle du temps, afin de caractériser la dynamique d'une visualisation.

Par ailleurs, le développement des modèles que nous décrivons dans l'article est validé par un logiciel que nous développons en parallèle. Il permet notamment de simuler ODS, tout en employant les concepts de C&M et Bertin.

Pour compléter notre travail, nous comptons appliquer le modèle à d'autres visualisations du monde de l'ATC. 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. Ahlberg, C. 1996. Spotfire: an information exploration environment. *SIGMOD Rec.* 25, 4 (Dec. 1996), 25-29.
2. Baudel, T. 2004. Browsing through an information visualization design space. In *CHI '04 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems* (Vienna, Austria, April 24 - 29, 2004). CHI '04. ACM Press, New York, NY, 765-766.
3. Baudel, T. 2002. Visualisations compactes: une approche déclarative pour la visualisation d'information. In *Proceedings of the 14th French-Speaking Conference on Human-Computer interaction (Conférence Francophone Sur L'interaction Homme-Machine)* (Poitiers, France, November 26 - 29, 2002). M. Beaudouin-Lafon, Ed. IHM '02, vol. 32. ACM Press, New York, NY, 161-168.
4. 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.
5. Bertin, J. 1967 *La sémiologie graphique*. Editions Mouton, Gauthier-Villars, Paris.
6. Card, S., Mackinlay, J., Shneiderman, B. 1998 *Information Visualization Readings in Information Visualization: Using Vision to Think*. Morgan Kaufman, introduction p 1-34
7. Card, S.K., Mackinlay, J.D. 1997 The Structure of the Information Visualization Design Space. In *Proc. Information Visualization Symposium '97*, pages 92-99.
8. Chi Ed. *A Framework for Visualizing Information*. Kluwer Academic Publishers, Netherlands 2002.
9. Chi Ed. 2000 A Taxonomy of Visualization Techniques using the Data State Reference Model. In *Proceedings of the Symposium on Information Visualization (InfoVis '00)*, pp. 69--75. IEEE Press, 2000. Salt Lake City, Utah.
10. Fekete, J.D. 2004. The InfoVis Toolkit *Proceedings of the 10th IEEE Symposium on Information Visualization (InfoVis'04)*, Austin, TX, Oct 2004. IEEE Press. pp. 167-174
11. Henry, N., Fekete, J.D. 2006, MatrixExplorer: a Dual-Representation System to Explore Social Networks in *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics (Proceedings Visualization / Information Visualization 2006)*.
12. Heer, J., Card, S. K., and Landay, J. A. 2005. pre-fuse: a toolkit for interactive information visualization. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. CHI '05. ACM Press, New York, NY, 421-430.
13. Johnson B. and Shneiderman B. 1991, Tree-maps: A Space-filling approach to the visualization of hierarchical information structures. In *Proceedings of IEEE Visualization '91*, pp. 284-291.
14. Koffka, K., *Principles of Gestalt Psychology* Routledge 1935.
15. Lamping, J., Rao, R., Pirolli, P., 1995 A focus + context technique based on hyperbolic geometry for visualizing large hierarchies, in *CHI '95, ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*. ACM.
16. Leroux M., Alliot J.M., *ERATO*, un système expert d'aide au contrôle du trafic aérien, Avignon 1992
17. Mackinlay, J. 1988. Applying a theory of graphical presentation to the graphic design of user interfaces. In *Proceedings of the 1st Annual ACM SIGGRAPH Symposium on User Interface Software*. UIST '88. ACM Press, New York, NY, 179-189.
18. Rao R., Card S. K. 1994, The Table Lens: Merging graphical and symbolic representations in an interactive focus plus context visualization for tabular information, in *Proc. CCHI '94 Conference on Human Factors in Computing Systems*. New York: ACM, pp. 318-322.
19. Robertson G. G, Mackinlay J. D. and Card S. K., 1991 Cone trees: Animated 3D visualizations of hierarchical information, in *Proceedings of the ACM SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems*. New York: ACM Press, pp. 189-194.
20. Saulnier, A. 2005. La perception du mouvement dans les systèmes de visualisation d'informations. In *Proceedings of the 17th Conference on 17<sup>ème</sup> Conférence Francophone Sur l'Interaction Homme-Machine*. IHM 2005. ACM Press, New York, NY, 185-192.
21. Schlienger, C., Dragicevic, P., Ollagnon, C., Chatty, S. 2006. Les transitions visuelles différenciées: principes et applications. In *Proceedings of the 18th international Conference on Association Francophone D'interaction Homme-Machine IHM '06*, vol. 133.,p 59-66
22. Shneiderman B. 1996 The Eyes Have It: A Task by Data Type Taxonomy for Information Visualizations. *IEEE Visual Languages*, 1996.
23. Triesman, A., Gormican, S. 1988. Feature analysis in early vision: Evidence from search asymmetries. *Psychological Review*, 95, 15--48.