

# Représentations écologiques de données temporelles : exemples et apports

Christophe Hurter<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup> ENAC  
7, av. Edouard Belin  
31400, Toulouse, France  
christophe.hurter@aviation-civile.gouv.fr

Stéphane Conversy<sup>1,2</sup>

<sup>2</sup> IHCS-IRIT  
118 Route de Narbonne,  
31400 Toulouse, France  
stephane.conversy@enac.fr  
yannick.jestin@enac.fr

Jean-Luc Vinot<sup>2,3</sup>

<sup>3</sup> DSNA/DTI/R&D  
7, av. Edouard Belin  
31400, Toulouse, France  
vinot@cena.fr

Yannick Jestin<sup>1</sup>

## RESUME

Dans cet article, nous nous intéressons à une classe de représentation qui utilise les données temporelles. Alors que la plupart des visualisations ne prennent pas en compte la sémantique spécifique des données temporelles, cet article décrit des représentations écologiques du temps que les praticiens de l'IHM peuvent réutiliser, et explique en quoi la sémantique apportée par ces représentations les rend plus faciles à interpréter. De plus, en utilisant des designs écologiques, des données *émergent* de ces représentations. Grâce à un modèle de caractérisation, nous montrons comment analyser une représentation, et comment mesurer son efficacité en termes de nombre de données initiales et émergentes. Ce modèle et ce critère permettent aux concepteurs de mieux comprendre l'espace de design ou de comparer plusieurs représentations.

**MOTS CLES :** visualisation, données temporelles, design, variables visuelles.

## ABSTRACT

In this paper, we focus on the specific design space of temporal data visualizations. Whereas most visualizations do not take into account the special semantic of temporal data, we depict ecological representations of the time that may be reuse by practitioners and we explain why their specific semantic helps users perceiving information. Furthermore, ecological designs create emerging data. Thanks to our characterization model, we show how to analyze such visualization and how to assess its efficiency in term of a number of the emerging information. This model and this assessment help designer to understand their design space, to compare designs.

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee.

IHM 2009, 13-16 Octobre 2009, Grenoble, France

Copyright 2009 ACM 978-1-60558-461-4/09/10 ...\$5.00.

**CATEGORIES AND SUBJECT DESCRIPTORS:** H5.m. Information interfaces and presentation (e.g., HCI): Miscellaneous.

**GENERAL TERMS:** temporal data, visualization, characterisation.

**KEYWORDS:** temporal data, visualization, characterisation.

## INTRODUCTION

Les représentations graphiques des informations utilisent les capacités perceptives visuelles des êtres humains afin de les aider à réfléchir efficacement (« *using vision to think* » [7]). En particulier, les travaux issus de la visualisation d'information (*InfoVis*) ont engendré des représentations abstraites (scatterplot à plusieurs variables visuelles, matrice de scatterplots, treemap) en s'appuyant sur des modèles de perception comme la sémiologie graphique [5]. La sémiologie graphique ne prend pas en compte la sémantique des données : seul le caractère des dimensions (Nominal, Ordonné ou Quantitatif) différencie les données. Ainsi, les « *timelines* » sont des représentations du temps utilisant une variable planaire cartésienne (le X ou le Y de l'écran). Dans ce cas, la perception des informations temporelles n'utilise que la capacité de perception d'une variable visuelle (Figure 2), ici une variable planaire.

Pourtant, la compréhension de la sémantique des données est importante pour faciliter leur interprétation. Dans son livre, Bertin [5] présente des représentations particulières pour une classe de données, celle des données spatiales (longitude, latitude). Les cartes, les plans, sont une représentation « naturelle » ou « écologique » (termes que nous définirons plus loin dans l'article) des données spatiales : on perçoit et on interprète le plan d'une maison, comme si on la voyait « du dessus ».

Dans cet article, nous nous intéressons à la représentation « naturelle », ou « écologique » des données temporelles, qui met en œuvre graphiquement une symbolique des phénomènes physiques caractérisant le temps. Sans le prouver, nous pensons que la sémantique apportée par ces représentations les rend plus faciles à interpréter que des représentations n'utilisant les variables visuelles de la sémiologie graphique que pour leurs seules propriétés

perceptives. Elles nécessitent moins de représentations explicites et textuelles (date, axe temporel), et déchargent l'image. Comme elles sont interprétables directement [15], et comme elles nécessitent moins de pixels [26], elles permettent aux utilisateurs de réfléchir encore plus efficacement (dans le sens « *using vision to think* »).

La contribution de cet article est double. Tout d'abord, nous présentons un certain nombre de représentations écologiques de données temporelles, qui peuvent être réutilisées par les praticiens de l'IHM dans leurs propres interfaces. De plus, nous proposons une analyse systématique de ces représentations, afin de montrer que des informations qui ne sont pas présentes dans les données, émergent des représentations grâce à l'utilisation du temps. Cette analyse se fait par l'intermédiaire d'un modèle de caractérisation et d'un critère d'efficacité.

### TRAVAUX ANTERIEURS

Nos travaux s'inscrivent dans le domaine de la visualisation d'information. Nous reprenons les concepts tels que le flot de données, présentés par la suite. Puis nous présentons un ensemble de travaux sur la représentation de données temporelles. Dans la suite de l'article, nous analysons un ensemble de représentations grâce à un nouveau modèle de caractérisation. Nous énumérons les travaux qui ont le même objectif.

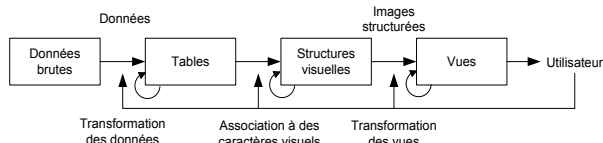


Figure 1 : modèle de traitement de données pour l'affichage [7].

### Le modèle d'affichage des données vers l'écran

Card, Mackinlay et Shneiderman ont réalisé un état des lieux des connaissances dans le domaine des visualisations [7]. 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]. Ce modèle se base sur la gestion d'un flux de données. Il est utilisé dans de nombreuses toolkits (InfoViz[14], prefuse, VTK, Tulip, Pajek...) et logiciels de visualisation (SpotFire[1], ILOG Discovery [28] ...).

### Taxonomies des représentations temporelles

La segmentation de l'espace de conception des visualisations est une activité à part entière du domaine de l'IHM. Les taxonomies ainsi produites permettent de mieux comprendre les relations entre visualisations, de mettre à jours des espaces non explorés, et de mettre à disposition des designers des catalogues de visualisations pour la création de futures IHM.

Les taxonomies sur les représentations utilisant spécifiquement des données temporelles sont rares. Shneiderman en a proposé une, avec une seule catégorie pour les données temporelles [24]. D'autres travaux se sont spécialisés sur les données temporelles [12] [19]. Dans les travaux de Müller et al. [22], la différence est faite entre la visualisation de données temporelles statiques ou dynamiques. Nous adoptons la même classification : la visualisation est statique si l'image n'évolue pas dans le temps, sinon elle est dynamique. Cette distinction est importante car comme nous allons l'expliciter dans la suite de cet article, la dynamique de l'image permet, dans une certaine mesure, de coder des données supplémentaires comme la vitesse et l'accélération de l'évolution d'un variable visuelle.

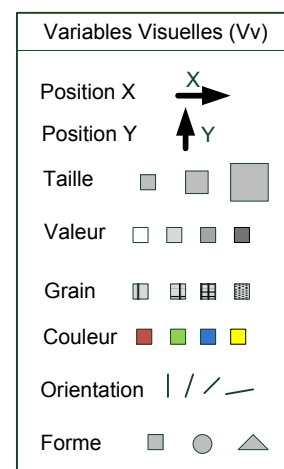


Figure 2 : variables visuelles introduites par Bertin

### La caractérisation des visualisations

Pour analyser les représentations temporelles, il est nécessaire de disposer d'un modèle de caractérisation. Card et Mackinlay (C&M) ont proposé un modèle de caractérisation qui a permis de décrire un large espace de design. Le modèle se base sur une représentation sous forme de matrice (Tableau 1) [8]. 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 [5]. L'image a trois dimensions : x, y, z et 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 [25] ; elle ne demande pas d'effort cognitif particulier.

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

**Tableau 1 :** le modèle de représentation de Card et Mackinlay

Cet exemple de caractérisation nous semble important car il permet la comparaison synthétique de design. Comparer deux designs peut se faire en comparant les deux caractérisations des designs par le modèle de C&M. Ce modèle a toutefois montré ses limites pour la caractérisation [17]. Ainsi il ne permet pas d'inclure les données qui émergent (une définition de l'émergence est donnée dans [17] et sera détaillée dans le chapitre suivant). De plus, la notion de données temporelles a bien été pensée par C&M mais n'a pas été mis en œuvre concrètement.

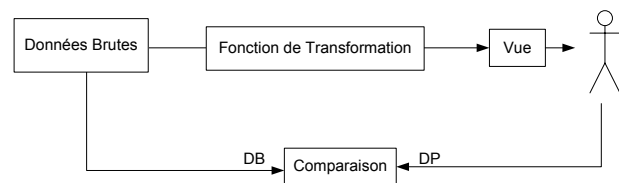
Wilkinson a utilisé un autre modèle de caractérisation qui utilise les principes de OOD (Object Oriented Design) [10]. Cette notation inspirée des travaux de Bertin décrit sous forme textuelle avec les opérateurs mathématiques les opérations nécessaires à l'affichage d'une représentation graphique. Cette notation est intéressante car elle permet de comprendre rapidement les données nécessaires pour réaliser le design. En ce sens elle est aussi une caractérisation. En revanche, le lecteur n'est pas complètement renseigné sur les caractéristiques visuelles du design (notion de groupe, dynamique de l'image...) et ce codage ne permet pas de faire des comparaisons rapides de design.

### DEFINITION DE L'EMERGENCE

Quel que soit le modèle de dataflow utilisé, le principe de transformation des données vers un visuel reste le même. En entrée de la chaîne se trouvent les données brutes (par exemple les champs d'une base de données) et en sortie se trouve l'utilisateur qui perçoit ces données sous forme visuelle. Cette transformation est une Fonction de Transformation (FT) des données brutes vers la perception de l'utilisateur. En fonction des choix des variables visuelles et du design utilisés dans la Fonction de Transformation, la perception de l'utilisateur peut être altérée ou augmentée.

Dans la majorité des cas, l'utilisateur interprète la donnée brute au travers de sa transformation visuelle, c'est-à-dire que pour être perçue, une donnée doit être transformée. Cependant, le processus de perception permet à un lecteur de percevoir plus d'informations que celles convoyées par les données transformées visuellement. Nous appelons données *émergentes* des données perçues par l'utilisateur sans pour autant avoir eu recours à la transformation visuelle d'une donnée brute. Par exemple si on considère l'affichage de la trajectoire d'un avion par une série de points, le design résultant est une ligne (groupement des points par effet « Gestalt » de la proximité et de l'alignement). La distance parcourue par l'avion est une donnée émergente dans le sens où le design utilise uni-

quement la position de l'avion pour afficher des points et non une donnée de la distance totale parcourue par celui-ci.



**Figure 3 :** Principe de l'émergence de données

Le nombre de données émergentes est un critère qualitatif pour les choix de design. Le design le plus efficace est celui qui affiche le plus de données émergentes. Si on note DB les données brutes et DP les données perçues par l'utilisateur, on peut établir le critère qualitatif du design suivant (Figure 3) :

- Si  $DB > DP$  le design est inefficace, il y a des données brutes transformées en représentation visuelles qui ne sont pas perçues par l'utilisateur,
- Si  $DB = DP$  le design est équilibré, il y a autant de données utilisées pour le design que de données perçues. En principe, ce sont les mêmes (chaque donnée brute est transformée visuellement et est perçue par l'utilisateur),
- Si  $DB < DP$  le design contient des données émergentes et est donc efficace.

### NOTRE MODELE DE CARACTERISATION

Une description des visualisations a plusieurs objectifs :

- le lecteur doit pouvoir comprendre rapidement comment la représentation est réalisée,
- il doit comprendre quelles sont les informations codées dans la visualisation, afin de comparer les avantages et les défauts de plusieurs d'entre elles.

Une simple description par la fonction de transformation n'est pas suffisante. En effet, comme elle ne renseigne pas sur les données émergentes, elle pourrait permettre de conclure que deux visualisations sont équivalentes alors que l'une d'entre elles possède des données émergentes [17]. Si un concepteur a pour mission de modifier une visualisation, ou de la remplacer par une autre, une telle caractérisation peut le conduire à concevoir une représentation moins efficace.

Nous proposons un modèle de caractérisation des visualisations. Nous nous sommes inspirés du modèle de C&M pour la partie « données brutes » et « codage visuel », et du langage de Wilkinson pour la partie textuelle de la description de la représentation.

La première colonne contient les données brutes utilisées pour implémenter la représentation ainsi que leur fonction de transformation. Par exemple « Point (latitude, longitude) » indique que la représentation utilise comme données brutes la latitude et la longitude, tout en les utilisant pour positionner un point. Nous avons aussi défini

un critère d'analyse en ajoutant les noms des données qui émergent (colonne de droite) et quels codes visuels sont à l'origine de cette émergence (colonne du milieu).

Fonctions de transformation	Codes visuels source de l'émergence	Données émergentes
...	...	...
...	...	...

**Tableau 2 :** notre modèle de caractérisation

Cette notation nous permet de décrire de façon synthétique le design, de mettre en avant le nombre de données émergentes et d'expliquer comment elles émergent. Ainsi le lecteur aura un moyen de comparaison entre designs. Dans la suite de cet article, nous allons utiliser ce tableau pour caractériser les visualisations.

### REPRESENTATION ECOLOGIQUE DU TEMPS

L'approche écologique de la perception visuelle a été introduite par Gibson [15]. Ce dernier fonde son analyse de la perception sur les rapports entre l'animal et l'environnement. Gibson pense que la perception « directe », (ou « pré-attentive »), ne concerne pas que des indices visuels dît de base, comme la couleur ou l'intensité lumineuse. Des caractéristiques de l'environnement de très haut niveau sont aussi perçues « directement ». Par exemple, les *affordances* [16], ces relations entre l'homme et son environnement, et notamment ses possibilités d'action, sont perceptibles directement. Des *invariants*, comme les gradients de texture des prairies, ou le filtre à lumière qu'est l'atmosphère, permettent aux êtres humains de situer « en profondeur » les objets se trouvant devant eux, de façon directe. Ainsi, l'interprétation des « données » de l'environnement est facilitée par des indices « écologiques ». C'est l'évolution des espèces qui a permis cette perception directe, optimisant nos capacités à percevoir de tels phénomènes. Selon nous, le terme de représentation « naturelle » réfère à ces capacités innées d'interprétation. Nous avons donc de bonnes raisons de penser que des représentations informatiques écologiques sont plus facilement interprétables que des représentations abstraites.

Gibson propose une explication de la perception du temps. Selon lui, le temps n'existe pas en tant que donnée abstraite, mais uniquement sous forme de succession d'événements (par exemple un éclair, suivi du tonnerre, suivi d'un arbre qui tombe, suivi d'une forêt qui s'embrase), ou de la perception de changements d'état (fruit qui mûrit puis pourrit, fer qui rouille, neige qui disparaît, saisons qui se succèdent). Ainsi, le temps est surtout perçu par ses effets sur l'environnement.

Les représentations que nous présentons utilisent quatre phénomènes physiques se déroulant dans le temps : la disparition progressive (notamment la rémanence et le vieillissement), l'apparition progressive (notamment le remplissage), le vieillissement et le mouvement.

### REPRESENTATIONS UTILISANT LE PHENOMENE DE DISPARITION PROGRESSIVE : REMANENCE ET VIEILLISSEMENT

Nous considérons la rémanence comme un phénomène qui permet d'afficher plusieurs représentations d'une même entité. Ce phénomène existe dans la nature, par exemple sous la forme de cercles dans l'eau qui disparaissent petit à petit, et qui permettent à un adepte de ricochets de compter le nombre de rebonds.

#### La comète radar pour les contrôleurs aérien

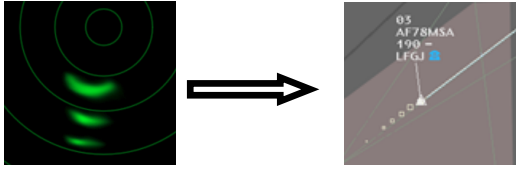
La tâche principale des contrôleurs aériens est d'assurer une séparation de sécurité entre les aéronefs. Pour ce faire, ils utilisent des vues radars qui affichent à l'aide de la comète radar les positions courantes et passées des avions (Figure 4). La position courante de l'avion est représentée par le carré le plus gros, le carré le plus petit représente la position la plus ancienne de l'avion.



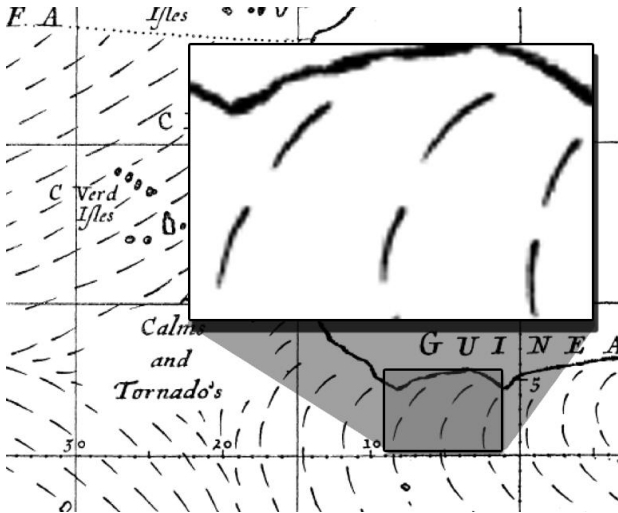
**Figure 4 :** la comète Radar utilisée par les contrôleurs aériens

Avant de détailler les propriétés visuelles de cette comète, il est intéressant de comprendre les origines de ce design. Les propriétés visuelles de la comète ont été utilisées pour la première fois au 17<sup>ième</sup> siècle par Edmond Halley [23] (Figure 6) pour afficher la direction des vents de la mousson avec une ligne plus large à une extrémité. Ainsi cette comète indique la direction et la tendance des vents. Le design de la comète avec sa tête et sa queue est écologique car il correspond à notre perception de phénomènes naturels : les gouttes dans des flaques, les étoiles filantes.

La comète radar utilisée par les contrôleurs utilise les propriétés visuelles de la comète introduite par Halley, mais ce design a été inspiré par des considérations technologiques. Les premiers écrans radars utilisaient des photophores qui avaient une forte rémanence. Ainsi entre deux mises à jour de la position d'un avion, sa position précédente est encore visible avec moins de luminosité. Le plot radar avait une durée de vie supérieure à la période de rafraîchissement du radar (Figure 5). La forme résultante indique la direction de l'avion, sa vitesse, son accélération, ainsi que sa tendance. Le déploiement de nouvelles positions de contrôle (écrans CRT puis LCD) a conservé sous forme logicielle cet artefact. Par exemple la Figure 4 affiche un avion qui tourne à droite, qui se déplace de la gauche vers la droite et qui a accéléré (l'espacement entre les carrés n'est pas régulier).



**Figure 5 :** comète radar sur des écrans avec phosphores (gauche), écran radar moderne (droite).



**Figure 6 :** représentation de la direction des vents de la mousson par Ed Halley (1686)

Si on analyse de façon un peu plus précise le design de la comète, on comprend que la forme résultante globale perçue par l'utilisateur est une ligne. La succession de carrés de tailles dégressives fusionne par l'effet de la continuité Gestalt [18]. Cette fusion crée une ligne avec ses propriétés de longueur, et de courbure. De plus cette ligne est dans une certaine mesure résistante à l'occlusion : plusieurs comètes peuvent se chevaucher sans altérer la perception des différents avions.

Le design et les informations codées par la comète radar sont résumés dans le Tableau 3. Toutes les données émergentes de la comète sont dues à la sémantique temporelle des positions de l'avion. Cette partie sera détaillée dans la partie discussion de l'article.

Fonctions de transformation	Codes visuels source de l'émergence	Données émergentes
Point (Latitude, Longitude)	Longueur de la comète	Vitesse
	Courbure	Tendance
Taille(Temps)	Tête et queue	Direction
	Espacements des carrés	Accélération

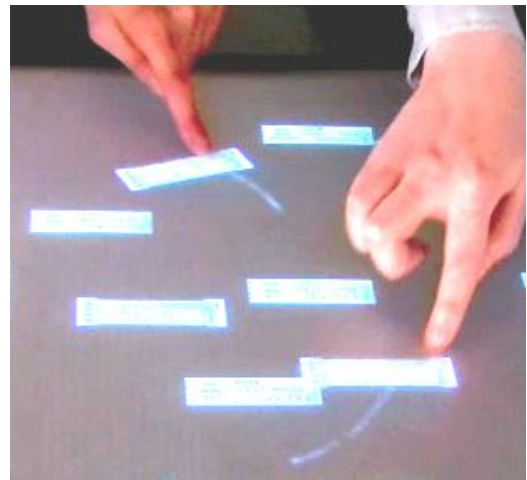
**Tableau 3 :** caractérisation de la comète radar

On peut remarquer que la comète code un nombre important d'informations émergentes, ce design est dans ce sens très efficace. C'est pourquoi il a été utilisé sous plu-

sieurs autre formes avec Mnemonic Rendering [6] toujours en utilisant la rémanence pour coder de l'information). *Phosphor* [4] a aussi utilisé la rémanence pour augmenter la puissance d'expression des widgets.

### Travail collaboratif

MAMMI (Multi Actors Man Machine Interface) [10] est un projet qui vise à instrumenter le travail collaboratif entre des contrôleurs aériens avec une table interactive multi-touch. Dans le prototype que nous avons réalisé, les utilisateurs laissent une trace sur l'écran à chacune de leur interaction. Par exemple le déplacement d'un objet de l'interface par un utilisateur laisse une traînée de « poussière » qui va progressivement disparaître dans le temps. Cette propriété visuelle permet aux autres utilisateurs de l'interface de comprendre les actions passées des autres utilisateurs. Sans la trace laissée par un utilisateur, les autres collaborateurs sont obligés de rester constamment en contact visuel avec l'interface pour connaître l'historique des mouvements. Grâce à l'utilisation d'une trace (qui est du même type que le design de la comète), les utilisateurs ont à disposition un historique sur une période de temps définie des positions passées des objets. Les objets mis en mouvement par les utilisateurs laissent une trace montrant leur positions passées (mouvement) comme pourraient le faire des objets déplacés sur du sable. Ce design utilise la perception écologique et est donc facilement compréhensible.



**Figure 7 :** rémanence de l'interaction sur l'interface collaborative MAMMI

Fonctions de transformation	Codes visuels source de l'émergence	Données émergentes
Ligne ( X(t), Y(t) )	Courbure de la ligne, taille de la ligne.	Actions passées des utilisateurs

**Tableau 4 :** caractérisation de la trace MAMMI

## VideoProbe



Figure 8 : Vieillesse d'une image dans Videoprobe

Le vieillissement est un phénomène naturel qui altère les propriétés visuelles des objets. Sa mise en œuvre dans des représentations permet à l'utilisateur de percevoir l'âge des objets. Videoprobe [11] est un dispositif qui permet de prendre des images de la vie familiale et de les partager entre plusieurs foyers d'une même famille. Les photos exposées subissent un vieillissement « naturel » : elles restent affichées sans altération pendant un certain temps puis progressivement leur couleur disparaît, les contrastes s'estompent jusqu'à une disparition complète de l'image. Ainsi, l'âge de la photo est directement lié à son aspect visuel. C'est en ce sens que ce design est écologique : l'image vieillie comme pourrait vieillir une vraie photo, ou n'importe quel objet subissant l'usure du soleil.

GROVE [13], un éditeur collaboratif, utilise un principe similaire. Les modifications effectuées par un utilisateur apparaissent de la couleur qui lui a été assigné. Plus le temps passe et plus la couleur évolue vers la couleur par défaut du texte (le noir) (Figure 9). Le texte ainsi ajouté subit un vieillissement et le lecteur peut très rapidement déduire l'ancienneté des modifications apportées. Cependant, la représentation n'est pas écologique, car elle n'imité pas un phénomène physique.

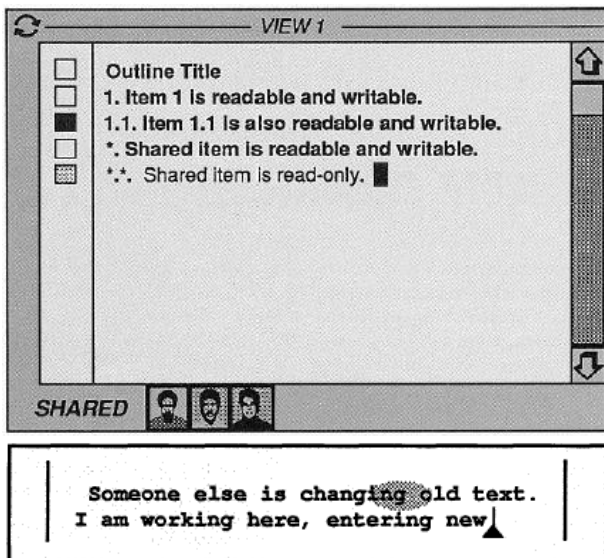


Figure 9 : interface de GROVE

## REPRESENTATIONS UTILISANT LE PHENOMENE D'ACCUMULATION

L'accumulation, comme par exemple celle de la neige qui tombe, est un phénomène naturel : on peut inférer le temps qui s'est écoulé par la perception de l'amoncellement.

### Le papier buvard

La représentation suivante sert à vérifier les effets d'un médicament sur les patients atteints de la maladie de Parkinson. Pour ce faire, le patient réalise deux tâches d'écriture à la main : une avant la prise du médicament, l'autre après la prise du médicament. Si le médicament est efficace, la deuxième écriture devrait être plus régulière, notamment dans la dynamique du tracé. Une représentation classique utilise des graphes de vitesse en X et en Y, mais ces graphes sont difficiles à interpréter.

Nous avons utilisé la métaphore du papier buvard. Le papier buvard absorbe l'encre d'un stylo en la diffusant sur la surface du papier. Plus le stylo reste en contact avec le papier, plus la tâche d'encre est grande. Lors du déplacement continu d'un stylo, l'épaisseur du trait varie et est donc directement proportionnelle à la vitesse de déplacement du stylo sur le papier.

La perception de la propriété d'épaisseur variable de la trace, même si elle peut être assez finement comparée entre traces, ne permet pas de mesurer précisément le temps d'écriture de chaque partie du tracé, mais fournit au lecteur une image « riche » et une très bonne restitution de l'évolution temporelle du geste d'écriture.

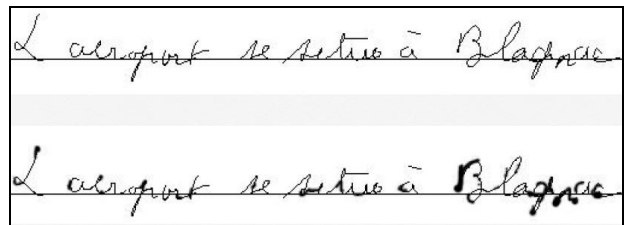


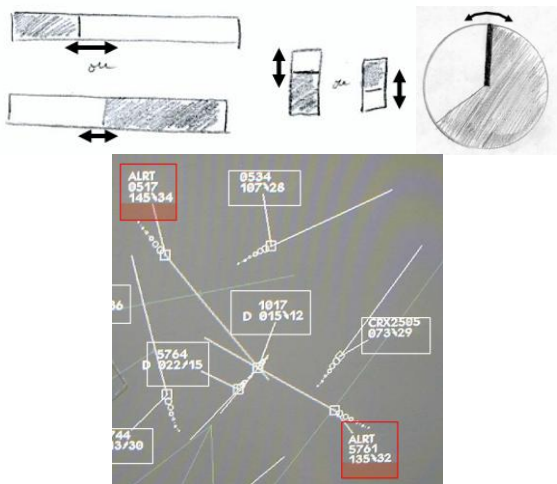
Figure 10 : écriture d'une personne atteinte de la maladie de Parkinson. En bas la trace en utilisant la métaphore du papier buvard.

Ce design illustre comment une image par définition statique peut coder des informations qui ont évolué dans le temps (ici la variation de la vitesse). Ce design est écologique car un analyste peut rapidement reconstruire les mouvements exécutés pour réaliser l'écriture. Des spécialistes ont ainsi pu déterminer les directions bloquantes pour les patients, ou les zones d'arrêts psychomoteurs. Les données émergentes sont la qualité de la courbe, la vitesse globale de l'écriture mais aussi l'évolution de la maladie dans le temps (comparaisons de plusieurs traces).

Fonctions de transformation	Codes visuels source de l'émergence	Données émergentes
Ligne ( X(t), Y(t) )	Forme du tracé	Qualité de la trace
	Forme du tracé	Vitesse globale de déplacement
Taille (V)	Patterns	Lettre bloquantes
	Patterns	Direction de prédilection

**Tableau 5 :** caractérisation du papier buvard

Il est à noter que la perception temporelle du déplacement sur la trace est uniquement due à l'utilisation de l'épaisseur de la ligne. Et c'est cette épaisseur qui fait émerger de l'information (comparaison sur la Figure 10 de la trace avec ou sans l'épaisseur).



**Figure 11 :** Jauges et accumulateurs pour afficher l'aspect temporel d'une alarme

### Alarmes jauges, accumulateurs

Les systèmes radar utilisés par les contrôleurs aériens sont capables d'afficher une alarme lorsque deux avions sont trop proches. Elle se déclenche 2 minutes avant le passage sous la norme de séparation, et se traduit visuellement par un texte clignotant : « ALERT ». Cette alarme est un indicateur d'état : il y a ou il n'y a pas d'alarme. Ce design visuel ne répond pas aux questions suivantes : « dans combien de temps va avoir lieu l'alarme ? » ou « depuis combien de temps l'alarme est activée ? ». Des travaux ont été réalisés pour étudier des solutions alternatives à la représentation d'alarmes temporelles pour les contrôleurs aériens. La recherche de ces solutions a consisté à un ensemble de brainstormings avec des designers et des contrôleurs aériens. De ces discussions se sont dégagées des idées de design mettant en œuvre l'aspect temporel des alarmes [2]. La solution envisagée est d'utiliser des jauges et des accumulateurs en forme de rectangles ou de cercles (Figure 11). Ce design écologique permet de comprendre rapidement si l'alarme vient

juste d'apparaître (la jauge est vide) ou si l'alarme est urgente (la jauge est pleine). Les états de remplissage de la jauge sont quantitatifs ce qui permet d'avoir une graduation assez fine sur la proximité temporelle d'une alarme.

Fonctions de transformation	Codes visuels source de l'émergence	Données émergentes
Surface ( temps avant alarme )	Remplissage de la jauge	Criticité de l'alarme
	Remplissage des jauges	Ordonnancement des alarmes

**Tableau 6 :** caractérisation des jauges

### REPRESENTATION UTILISANT LE MOUVEMENT

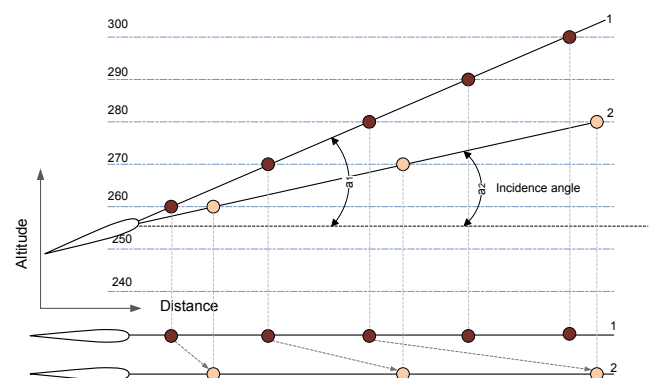
Le Passage de Niveau de Vol (PNV) est un design qui consiste à afficher devant la comète les positions futures de l'avion à son passage à une altitude multiple de 10 (Figure 12).



**Figure 12 :** passage de niveau d'un avion

Par exemple dans la Figure 13 l'avion va croiser le niveau de vol (altitude) 260 puis 270, 280... Un point symbolise le passage de ces altitudes. Avec cette représentation, le contrôleur peut rapidement vérifier qu'un vol en évolution verticale (qui monte ou qui descend) va générer un conflit avec un autre vol. Cette représentation fait partie d'une étude prospective, et n'est pas utilisée en situation opérationnelle.

La Figure 13 décrit deux profils verticaux. Le PNV résultant permet avec la vue de dessus (bas de la Figure 13) de percevoir rapidement si l'avion monte vite ou lentement : par exemple l'espacement des points indique que l'avion 1 monte plus vite que l'avion 2.



**Figure 13 :** vue verticale d'un avion qui change d'incidence

L'image statique du PNV n'est pas écologique. Cependant, si un changement de profil vertical est accompagné d'une transition animée, la perception devient écologique : c'est la métaphore d'un objet longiligne (comme un bâton), que l'on couche ou que l'on relève en le re-

gardant du dessus. S'il est proche d'une position verticale, on ne voit qu'un point ; si on le couche, sa projection dans le plan horizontal « s'étale ». La Figure 14 donne quatre exemples de profil vertical d'avion qui évoluent dans le temps. Ainsi la PNV fait évoluer ses points : ils s'étalent jusqu'à leur disparition lors d'une stabilisation de l'avion sur une altitude, et ils se tassent lors de la mise en monté ou descente de l'avion. C'est la dynamique de l'image qui permet de faire émerger de l'information du design : le début et la fin de l'évolution de l'avion. L'image statique permet néanmoins de faire émerger la vitesse verticale de l'avion et son accélération.

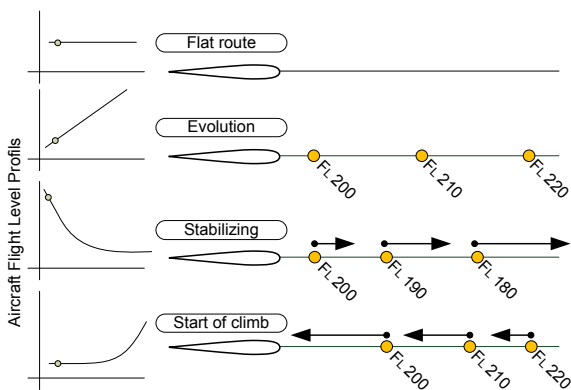


Figure 14 : correspondance entre le profil vertical de l'avion et la vue du passage de niveau

Fonctions de transformation	Codes visuels source de l'émergence	Données émergentes
Point [ Latitude (temps), Longitude (temps), Altitude (temps) ]	Espace entre points	Vitesse verticale
	Espace entre points	Accélération verticale
	Début/fin de l'animation	Début/fin d'évolution

Tableau 7 : caractérisation du passage de niveau de vol

Les systèmes actuels utilisés par les contrôleurs aériens affichent les informations d'évolution verticale des avions sous forme de texte dans l'étiquette radar. La tendance de l'avion est donnée par une flèche pour indiquer la direction et par une valeur textuelle. L'étiquette radar ne permet pas de comparer les profils verticaux des avions mais seulement leur vitesse verticale instantanée. De plus l'étiquette radar ne donne pas de notion temporelle concernant l'évolution du profil verticale. La comparaison entre l'étiquette radar et le PNV permet de mettre en avant l'intérêt des données émergentes de ce design.

## DISCUSSION

Dans cette partie, nous expliquons pourquoi et comment la perception écologique des designs affichant des données temporelles crée de l'émergence. Cette émergence

trouve ses sources dans la rémanence avec par exemple le design de la comète, dans l'accumulation avec des jauges, ou dans le mouvement avec le design du passage de niveau.

### L'émergence de la vitesse d'évolution d'une variable visuelle

Les designs qui utilisent la rémanence affichent plusieurs occurrences d'une donnée à des temps différents. Ainsi le lecteur va pouvoir faire des comparaisons entre ces occurrences. Dans le cas de la comète radar, plusieurs occurrences du même avion sont affichées à des instants différents (utilisation de la Variable Visuelle position). L'utilisateur peut alors comparer la position sur l'écran de deux occurrences à deux instants différents et ainsi évaluer une vitesse d'évolution et par extension l'accélération (il faut alors au moins trois occurrences) (Figure 15). Cette perception de la vitesse et de l'accélération peut se faire avec les variables visuelles ordonnées (O) ou quantitatives (Q) : taille, luminance, saturation, position, orientation. C'est ainsi qu'émergent la vitesse et l'accélération de la modification d'une Variable Visuelle (Vv) (Figure 2).

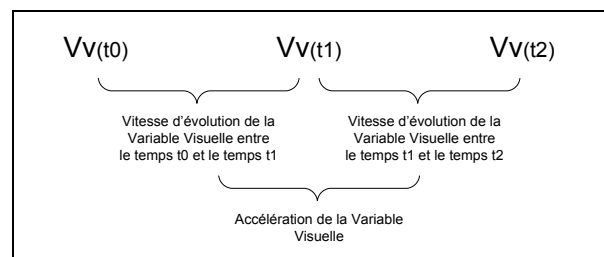


Figure 15 : perception de la vitesse et de l'accélération

Le cas de la comète radar est un peu à part car ce design utilise plusieurs variables visuelles qui évoluent avec le temps. La position est utilisée pour afficher la position de l'avion à plusieurs instants. Cette rémanence géographique permet de percevoir la vitesse de l'avion, son accélération et ainsi le taux de virage de l'avion. La comète utilise aussi la taille pour coder l'âge des plots radar. Cette deuxième rémanence permet de coder la vitesse de vieillissement des plots radar. Dans le cas du contrôle aérien, cette vitesse est constante pour tous les plots radar (la mise à jour des informations est liée au taux de rafraîchissement des radars). La dégression régulière de la taille des plots radar permet de les grouper par effet Gestalt. Ainsi, la forme résultante permet de déterminer la direction de l'avion. Pour le design de la comète, la valeur de la vitesse de vieillissement des plots radar n'est pas pertinente (c'est la même pour tous) mais c'est son signe (positif ou négatif) qui code une autre information émergente : la direction de l'avion.

### L'émergence due à la dynamique de l'image

Lorsque la dynamique de l'image est utilisée pour coder des informations temporelles, le principe de la perception de la vitesse et de l'accélération d'une variable visuelle

par l'utilisateur est quasiment inchangée (Figure 15). Ainsi, c'est la mémoire visuelle de l'utilisateur qui lui permet d'évaluer la modification des variables visuelles entre deux instants. Ce choix de design est moins précis que l'utilisation d'une image statique car il existe des incertitudes sur les intervalles de temps (l'Homme se trompe dans son estimation des intervalles temporels : on a tendance à sous-estimer les petits intervalles de temps et a sur-estimer les grands, loi de Vierordt [20]), et sur les modifications des variables visuelles (évaluation avec une image mentale soumise à distorsions dans le temps).

### L'émergence due à l'accumulation

Le design de l'accumulation utilise le même principe de la Figure 15. Dans ce cas on ne parle pas de vitesse et d'accélération d'une variable visuelle (au sens de Bertin), mais plutôt d'une vitesse et d'une accélération perçues du remplissage de la jauge. Cette vitesse et cette accélération émergent.

Ce design a des propriétés supplémentaires : on a une estimation assez précise du temps passé (la partie remplie de la jauge) et du temps restant (la partie à remplir de la jauge). En revanche, il n'y a pas d'information sur l'historique des positions passées et pas d'information sur les positions futures [6].

### Le designer face à l'émergence

Les designers cherchent à créer des visuels efficaces. Les représentations écologiques sont intéressantes car elles permettent aux utilisateurs de percevoir de l'information en minimisant leur charge cognitive. Cette recherche est parfois dû au hasard (comète radar) car il n'existe pas de méthode ni de théorie indiquant si un design va faire émerger de l'information. Seule l'évaluation empirique avec des utilisateurs permet de déterminer l'existence de telles caractéristiques. Par exemple, le design du passage de niveau n'avait pas initialement été conçu pour faire émerger le début et la fin de l'évolution de l'avion (cette émergence est due à la dynamique de l'image).

Cependant, il existe des cas où l'émergence n'est pas souhaitée. L'émergence est souvent liée à la perception écologique. Ainsi l'utilisateur perçoit de l'information sans avoir à faire des efforts particuliers. Si on prend le cas d'une barre de progression (rectangle qui se remplit progressivement dans le temps), l'utilisateur va percevoir la vitesse de remplissage et peut-être son accélération. Même si cette vitesse ne code pas volontairement de l'information, l'utilisateur va de toute façon percevoir cette donnée au risque de l'induire en erreur. Par exemple si la barre ne bouge pas, l'utilisateur peut penser que le système est bloqué, alors que la barre de progression indique le nombre d'éléments en cours d'analyse, et non le temps prévu pour analyser l'ensemble des informations.

### CONCLUSION

Il existe une classe de visualisation qui concerne à la représentation de données temporelles. Pour ce faire cer-

taines visualisations considèrent les données temporelles comme n'importe quelles autres données [26]. Dans cet article, nous considérons le temps comme une donnée spécifique : la perception des données temporelles par l'utilisateur peut être améliorée en utilisant des designs écologiques [15]. Dans cet article, nous recensons des représentations écologiques c'est-à-dire des représentations qui se servent des connaissances acquises par l'Homme dans son environnement :

- Design utilisant la disparition progressive : comète radar et MAMMI (rémanence), VideoProbe (vieillessement),
- Design utilisant l'apparition progressive et l'accumulation : alarmes, papier buvard,
- Design utilisant le mouvement : passage de niveau.

Nous avons analysé ces représentations pour comprendre en quoi elles utilisent la perception écologique de l'utilisateur. Ces représentations sont très efficaces car elles permettent de faire émerger de l'information. Nous avons défini l'émergence et nous en avons trouvé une source (vitesse et accélération de la variation d'une variable visuelle). À l'aide d'un tableau pour caractériser les designs, nous avons affiché les différences entre les visualisations et nous avons ajouté un critère d'évaluation pour l'efficacité des designs : le design le plus efficace est celui qui fait émerger le plus grand nombre d'informations.

Nous avons présenté un critère d'évaluation et de comparaison des représentations. Ce critère ne s'applique pas qu'aux représentations écologiques, mais à toute représentation. Nous comptons identifier d'autres critères de ce type qui permettront de comparer de façon systématique les représentations, et d'aider les concepteurs à faire des choix et à les justifier.

### BIBLIOGRAPHIE

1. C. Ahlberg, Spotfire: an information exploration environment. SIGMOD, 1996.
2. Athènes, S., Chatty, S., Bustico, A.: Human factors in ATC alarms and notifications design: experimental evaluation. In: Proc. ATM'2000 R&D seminar (2000)
3. T. Baudel, Browsing through an information visualization design space. CHI '04. ACM Press, New York, 2004.
4. P. Baudisch, D. Tan, M. Collomb, D. Robbins, K. Hinckley, M. Agrawala, S. Zhao, G. Ramos, Phosphor: Explaining Transitions in the User Interface Using Afterglow Effects. UIST 2006
5. J. Bertin, Graphics and Graphic Information Processing de Gruyter Press, Berlin, 1977.
6. A. Bezerianos, P. Dragicevic, R. Balakrishnan, Mnemonic rendering: an image-based approach for exposing hidden changes in dynamic displays. UIST 2006.

7. S.K. Card, J. Mackinlay, B. Shneiderman, *Information Visualization Readings in Information Visualization: Using Vision to Think*. Morgan Kaufman 1998.
8. S.K. Card, J.D. Mackinlay, *The Structure of the Information Visualization Design Space*. In *Proc. Information Visualization Symposium '97*.
9. Ed. Chi, *A Framework for Visualizing Information*. Kluwer Academic Publishers, Netherlands 2002.
10. S. Conversy, A. Lemort, S. Valès, "MAMMI WP1: Review of existing systems". Technical report, T06-043, Eurocontrol, 2007.
11. S. Conversy, N. Roussel, H. Hansen, H. Evans, M. Beaudouin-Lafon, W. Mackay. *Sharing daily-life images with videoProbe*. In *Proceedings of the 15th French-Speaking Conference IHM 2003*.
12. C. Daassi, L. Nigay, M.-C. Fauvet, *A taxonomy of temporal data visualization techniques* In *Revue Information-Interaction-Intelligence*, Vol. 5, No 2. pages 41-63. 2006.
13. C. Ellis, S.J. Gibbs, G. Rein "Design and Use of a Group Editor" in *Engineering for Human Computer Interaction*, G. Cockton, editor. North Holland, Amsterdam, 1990.
14. J.D. Fekete, *The InfoVis Toolkit InfoVis'04*, Austin, TX, Oct 2004. IEEE Press. pp. 167-174, 2004.
15. J.J. Gibson, *The Ecological Approach to Visual Perception*. Houghton Mifflin, Boston. 1979.
16. J. J. Gibson. *The theory of affordances*. In R. Shaw and J. Bransford, editors, *Perceiving, Acting, and Knowing: Toward an Ecological Psychology*. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ, 1977.
17. C. Hurter, S. Conversy. *Towards Characterizing Visualizations*. In *interactive Systems. Design, Specification, and Verification: 15th international Workshop Kingston, Canada, DSV-IS 2008*.
18. K. Koffka, *Principles of Gestalt Psychology* Routledge 1935.
19. V. Kumar, R. Furuta, R.-B Allen. *Metadata visualization for digital libraries: interactive timeline editing and review*. ACM conference on Digital libraries, Pittsburgh, USA, ACM Press, 1998.
20. H. Lejeune ; J. H. Wearden, *Vierordt's The Experimental Study of the Time Sense (1868) and its legacy*, in *European Journal of Cognitive Psychology* January 2009.
21. B. Meyer, *Object Oriented Software Construction*. Englewood Cliffs.
22. W. Müller and H. Schumann. *Visualization methods for Time-Dependent Data - An Overview*. *Proceedings of the Winter Simulation Conference WSC*, New Orleans, USA, ACM Press, 2003.
23. J. Norman, W. Thrower, *Edmond Halley as a Thematic Geo-Cartographer*, *Annals of the Association of American Geographers*, Vol. 59, 1969.
24. B. Shneiderman, *The Eyes Have It: A Task by Data Type Taxonomy for Information Visualizations*, CS-TR-3665 July 1996.
25. A. Triesman, S. Gormican, *Feature analysis in early vision: Evidence from search asymmetries*. *Psychological Review*, 95.
26. E.R. Tufte, *The Visual Display of Quantitative Information*, Graphics Press, Cheshire, Connecticut, 1983.
27. S. Valès, Conversy, S., Lard, J., Ollagnon, C. "Design and evaluation test-bed for collaborative practices on control positions". In *Eurocontrol Center INO Workshop. EEC*, 2007.
28. L. Wilkinson, *The grammar of Graphics*. New York: Springer Verlag, 1999.