



HAL
open science

De la pré-attentivité des conjonctions visuelles

Stéphane Conversy

► **To cite this version:**

Stéphane Conversy. De la pré-attentivité des conjonctions visuelles. 27ème conférence francophone sur l'Interaction Homme-Machine., Oct 2015, Toulouse, France. pp.alt2. hal-01220377

HAL Id: hal-01220377

<https://hal.science/hal-01220377v1>

Submitted on 26 Oct 2015

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

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

De la pré-attentivité des conjonctions visuelles

Stéphane Conversy

Université de Toulouse -
ENAC
7, avenue Edouard Belin
Toulouse, France
stephane.conversy@enac.fr

Permission to make digital or hard copies of part or all 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. Copyrights for third-party components of this work must be honored. For all other uses, contact the Owner/Author. Copyright is held by the owner/author(s). IHM '15, Oct 27-30 2015, Toulouse, France

Résumé

Dans la littérature existante, il est souvent stipulé que l'être humain n'est pas capable de percevoir de façon pré-attentive des marques graphiques selon une conjonction de valeur de variables visuelles. Une conséquence implicite est que les conjonctions visuelles ne seraient pas utiles dans les systèmes de visualisation d'information. Ces deux assertions sont dues au caractère singulier de l'exemple et de la tâche expérimentale choisie par la majorité des auteurs. Dans cet article, nous contredisons ces deux assertions et prétendons que l'être humain est capable de percevoir de façon pré-attentive ce type de marques. Nous nous appuyons sur d'autres exemples pour démontrer notre propos, ainsi que sur un autre corpus de connaissance, celui de la sémiologie graphique. Nous formulons des hypothèses falsifiables permettant de tester expérimentalement notre propos.

Mots-clés

Représentation, Perception pré-attentive, Sémiologie graphique.

ACM Classification Keywords

H.5.m. [Information Interfaces and Presentation (e.g. HCI)]: Miscellaneous.

Introduction

Les représentations graphiques destinées à transmettre des informations à des utilisateurs humains forment une part essentielle des systèmes interactifs. Que ce soit dans les statistiques, dans les figures des feuilles de calcul ou de logiciel de présentation, dans les salles de contrôle et les cockpits, dans les systèmes de visualisation scientifique ou de visualisation d'information [4] ou même dans les langages de programmation [2], les représentations graphiques sont censées rendre les utilisateurs performants dans l'analyse des données, car elles permettent d'exploiter les capacités du système visuel humain.

Afin de maximiser l'efficacité de ces représentations, leurs concepteurs se reposent sur des corpus de connaissance. Par exemple, il existe des guides et des règles sur l'ergonomie des interfaces (contraste lumineux minimum, taille minimum des objets graphiques), des règles sur la structuration des couleurs [6], ou des modèles d'analyse du parcours de l'image [3]. Ces corpus de connaissances permettent aux concepteurs de se familiariser avec les caractéristiques du système perceptif humain, de choisir en connaissance de cause telle ou telle représentation, de justifier ces choix, et *in fine* de produire des systèmes plus efficaces pour les utilisateurs visés.

La notion de perception dite pré-attentive [10] tient une place importante dans ces corpus. Elle décrit le fait que le système perceptif humain est capable d'analyser très rapidement certaines caractéristiques des représentations graphiques (en moins de 250 ms). Cette perception ne nécessite pas d'attention de leur

part, elle serait pré-câblée dans la chaîne de traitement partant des récepteurs de la rétine et allant jusqu'à la conscience. De nombreux travaux ont été conduits pour construire un corpus de connaissances autour de cette notion, et mesurer la rapidité à percevoir certaines représentations [10, 5].

Cependant, dans la littérature existante il est souvent stipulé que l'être humain n'est pas capable de percevoir de façon pré-attentive des marques graphiques selon une conjonction de valeur de variables visuelles [10, 5, 7, 9, 11]. Un exemple destiné à illustrer cette assertion est très souvent cité (cf fig 1) [5]. C'est sur la base de cet exemple que des articles ou des livres formulent une limite fondamentale du système perceptif humain : l'incapacité à percevoir des groupes selon une conjonction de variables visuelles.

Dans cet article, nous contredisons ces deux assertions et prétendons que l'être humain est capable de percevoir de façon pré-attentive ce type de marques. Nous nous appuyons sur d'autres exemples pour démontrer notre propos, ainsi que sur un autre corpus de connaissance, celui de la sémiologie graphique. Enfin, nous formulons des hypothèses falsifiables permettant de tester expérimentalement notre propos.

Description de l'exemple classique

L'exemple classique (fig. 1) provient d'un article sur la pré-attentivité des variables visuelles. Il fait partie d'un ensemble d'exemples destinés à tester expérimentalement l'interférence entre variables visuelles. L'effet recherché est celui du « pop-out », le fait qu'un objet ressorte ou surgisse de l'image parmi les autres objets : l'effet « pop-out » est caractérisé

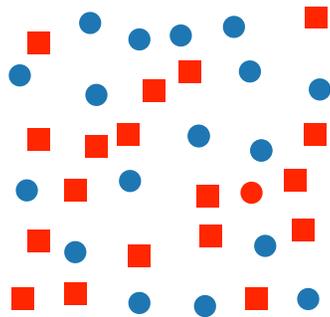


FIGURE 1 – L'exemple classique [5] de la falsification de la pré-attentivité des conjonctions de variables visuelles : « trouver ● parmi un ensemble de ● et de ■ n'est pas pré-attentif »

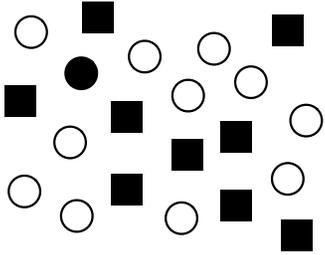


FIGURE 2 – Autre exemple [5] de la falsification de la pré-attentivité des conjonctions de variables visuelles. Légende originale : « la cible ● ne peut pas être détectée pré-attentivement car elle n'a pas de caractéristiques visuelles uniques des détracteurs ○ ■ »

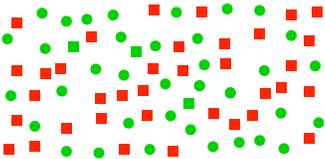


FIGURE 3 – Autre exemple [11] de la falsification de la pré-attentivité des conjonctions de variables visuelles : « trouver les trois ■ parmi les ■ et les ● »

quand un sujet d'expérimentation est capable de percevoir cet objet d'un seul coup d'oeil de moins de 250 ms [5]. L'expérience s'appuyant sur la figure 1 démontre l'absence d'effet « pop-out » et l'impossibilité de trouver rapidement un cercle rouge parmi un ensemble de carrés bleus et rouges. En effet les expérimentations montrent que les sujets mettent plus de 250ms en moyenne avant de trouver la cible.

Il convient de noter que la description de la tâche expérimentale fournie dans l'article 1 est précise et limite de façon appropriée la portée du résultat. Ainsi, la tâche demandée aux sujets de l'expérimentation est une tâche de recherche d'un seul élément particulier connu (circulaire et rouge ●) dans un groupe d'éléments (circulaires et bleus ●, ou carrés et rouges ■). L'article présente deux autres types de tâche : la détection de frontière entre groupes d'objet partageant les mêmes caractéristiques, et le comptage ou l'estimation du nombre d'objets similaires. Nous reviendrons plus loin sur l'importance de la tâche demandée aux sujets, et *in fine* à des utilisateurs de système de visualisation.

Littérature Existante

Un autre but recherché par les auteurs de cet article et les auteurs de livre qui le référencent est d'illustrer un phénomène : ils cherchent à persuader le lecteur que l'effet de « pop-out » n'existe pas en utilisant cet exemple. Cela nécessite que le lecteur se persuade de lui-même en regardant cette image qu'un ou des éléments de cette image ressortent parmi les autres, et qu'il lui semble « facile » de les percevoir.

Ainsi, les auteurs de [5] stipulent qu'une « conjonction a lieu quand une cible est composée de deux (ou plus)

caractéristiques, chacune d'entre elles étant utilisée dans des objets détracteurs. Les objets réalisés avec une conjonction de caractéristique unique ne peuvent pas être détectés pré-attentivement [10]. La figure 1.b [reproduite en figure 2] montre un exemple de tâche de conjonction. La cible est faite de deux caractéristiques : remplie et circulaire ●. Ces deux caractéristiques apparaissent dans les objets détracteurs (carrés remplis ■ et cercles vides ○). Par conséquent, la cible ne peut pas être détectée pré-attentivement. » La page web du premier auteur reprend ces exemples¹ : « une cible faite d'une combinaison de caractéristiques uniques (une cible conjonctive) ne peut normalement pas être détectée pré-attentivement. »

Cet exemple est repris dans de nombreuses publications. Par exemple, le livre de Ware sur le design des représentation graphiques [11] présente une image similaire pour illustrer l'absence de pré-attentivité (figure 3) : « il y a trois carrés verts ■ dans le motif [de carrés rouges ■ et de ronds verts ●]. Les carrés verts ne surgissent pas de l'image, même si vous savez quoi chercher. Le problème est que le cortex visuel primaire peut être ajusté soit pour les formes carrés, soit pour les objets verts, mais pas les deux à la fois. » (p30). Il est aussi stipulé que « chercher une cible basée sur deux caractéristiques est appelé recherche visuelle conjonctive, et la plupart des conjonctions visuelles sont difficiles à voir. » De façon curieuse, le livre contient un peu plus loin (p33) un exemple d'utilisation de variables visuelles pour lequel la conjonction semble fonctionner, mais l'auteur n'en discute que l'aspect de séparabilité (perception d'une variable visuelle « malgré » l'utilisation d'une autre variable visuelle).

1. <http://www.csc.ncsu.edu/faculty/healey/PP/>

Le livre de Spence [9] reprend exactement l'exemple de Healey & al. [5] (p49) ainsi que ses conclusions. Cependant, il est stipulé que l'exemple « *n'implique pas que ce qui est appelé « pop-out multiple » n'est pas possible* ». Malheureusement, à l'instar de Ware, ce que Spence appelle « pop-out multiple » est le fait de pouvoir séparer les variables visuelles, et non pas de les conjuguer. Le livre de MacEachren [7] aborde la conjonction de variables visuelles et admet un manque de connaissances sur le sujet (p88). L'accent est mis sur la conjonction redondante, c-à-d l'utilisation de variables visuelles distinctes pour coder la même donnée, les expériences ayant montré de meilleures performances avec ce type de représentation (p89).

Les auteurs de [8] étudient les conjonctions triples de couleur, orientation, et forme, et démontrent qu'il est effectivement possible de trouver une cible à partir de conjonctions de variables visuelles. Cependant, la variable visuelle "forme" est une nouvelle fois utilisée, dans des scènes avec peu d'objets. De plus, l'article ne précise pas comment les expérimentations mettaient en oeuvre la variable visuelle forme lorsque les cibles différaient.

Par ailleurs, les chercheurs mesurent aujourd'hui la qualité de pré-attentivité en la caractérisant par la pente : temps de réaction / nombre d'items [8]. Cependant, il est souvent stipulé dans les articles qu'une tâche est "difficile" ou "facile" ce qui revient à faire une dichotomie. Il nous semble que l'aspect "continu" ou "dichotomique" de la pré-attentivité dépend de l'objet de recherche : s'agit-il d'étudier les mécanismes de perception (aspect "continu") ou leurs usages en IHM et infovis (aspect "dichotomique") ? Notre article se situe plus dans la deuxième démarche.

Un exemple trompeur

L'exemple classique est trompeur, et ce sur deux plans distincts : les conditions expérimentales, et les conséquences à en tirer.

Conditions expérimentales

L'exemple classique utilise deux variables visuelles : la teinte et la forme. Chaque variable visuelle est instanciée selon deux valeurs : rouge ou bleu pour la teinte, et carré ou circulaire pour la forme. Il est effectivement possible de discerner de façon pré-attentive les deux groupes formés par les deux teintes : le lecteur se persuadera sans difficulté qu'il est capable de discerner les objets rouges et bleus. La perception pré-attentive des groupes de teinte a d'ailleurs été confirmée expérimentalement [5].

A contrario, le lecteur aura sans doute plus de difficulté à discerner les objets ronds des objets carrés. Certes, le lecteur pourrait prétendre qu'il lui semble possible de distinguer les groupes de carrés et de cercles de façon pré-attentive dans l'exemple classique, ce qui contredirait notre affirmation quant à la difficulté intrinsèque de cette tâche visuelle. Cependant, s'il est possible de le faire avec des scènes ne comprenant qu'une faible quantité d'objets (ce qui est le cas de l'exemple classique, et ce que montre l'expérimentation [5]), cela devient difficile avec une grande quantité d'objets.

Afin de soutenir notre propos, la figure 4 illustre notre incapacité à distinguer la surforme «X» qu'engendre l'arrangement des carrés parmi les ronds. En revanche, si les carrés sont noirs (figure 5), la surforme «X» apparaît clairement. Ce phénomène n'est pas nouveau, il fait partie du corpus de connaissances de la sémiologie graphique [1]. Bertin n'utilise pas le terme

de pré-attentivité, mais la notion de « sélectivité » est similaire : elle se définit comme la capacité d'un être humain à sélectionner des groupes d'objets selon des variables visuelles en « un coup d'oeil ». Selon Bertin, la forme n'est pas sélective [1], alors que la luminosité, la taille ou la teinte le sont. C'est ce qui explique que la surforme X apparaît clairement avec la luminosité.

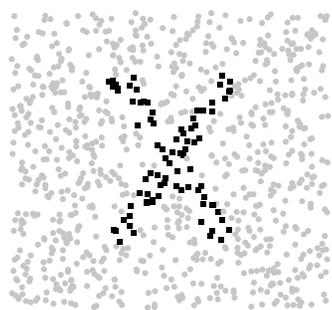


FIGURE 5 – la luminosité est sélective : la surforme X formée par les objets sombres ■ parmi les clairs ● apparaît

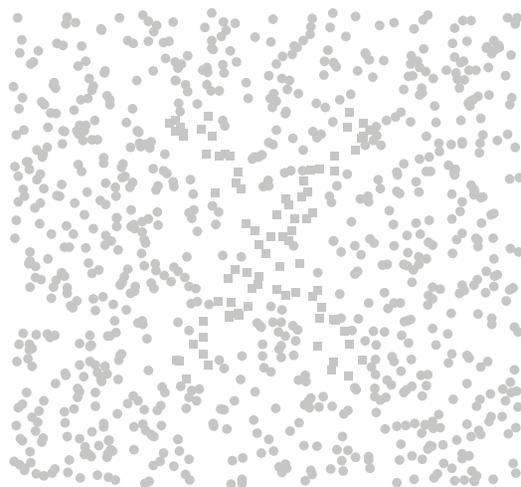


FIGURE 4 – La forme n'est pas sélective : la surforme X formée par les carrés ■ parmi les cercles ● n'apparaît pas

On pourrait arguer avec raison que la tâche de notre exemple précédent (détection de groupe) est de nature différente de l'exemple classique (détection d'une cible). Cependant, notre exemple vise surtout à illustrer la faible capacité de la forme à être sélective et souligner le caractère singulier de l'exemple classique. Par ailleurs, certains auteurs utilisent l'incapacité à détecter des cibles pour illustrer des incapacités de plus haut niveau : ainsi, la tâche de Ware [11] est une recherche de trois cibles (figure 3).

L'incapacité de la forme à être sélective dans des conditions plus complexes que l'expérimentation de Healey et al. [5] est la raison principale pour laquelle l'exemple classique est trompeur. En effet, comment un lecteur pourrait-il discerner de façon pré-attentive les objets à la fois circulaires et rouges, alors qu'il est en premier lieu difficilement capable de discerner de façon pré-attentive les objets circulaires des objets carrés ? Ajouter une difficulté supplémentaire (rouge vs bleu) à une incapacité (cercle vs carré) ne conduit qu'à une nouvelle incapacité (cercle et rouge).

Conséquences

En soi, l'exemple classique illustre correctement une incapacité de perception pré-attentive *pour les variables visuelles teinte et forme*, comme l'ont montré expérimentalement Healey et al. [5]. Le problème est que les écrits que nous avons référencés s'appuient sur cet exemple pour laisser à penser qu'il existerait une incapacité *quelles que soient les variables visuelles* utilisées dans la conjonction. Formuler une théorie (incapacité de perception pré-attentive de conjonction) à partir d'un ensemble d'observations est une inférence appelée « induction ». En l'espèce, nous estimons qu'il s'agit d'une induction erronée, comme le sont souvent les inductions basées sur un seul type d'exemple. La section « Proposition de test de l'induction erronée » vise à falsifier cette induction.

Par ailleurs, l'exemple classique laisse à penser de façon implicite que la conjonction de variables visuelles serait inutile dans un système de visualisation. Nous pensons au contraire que la conjonction de variables visuelles fait partie des phénomènes qui constituent l'essence même de la visualisation d'information (section « Conjonctions pour les tâches de l'Infovis »).

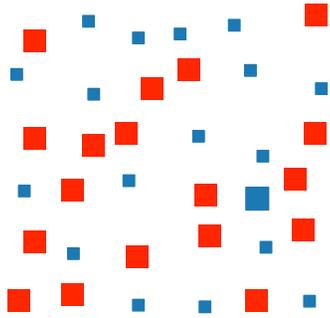


FIGURE 6 – L'exemple classique retravaillé en remplaçant la forme (non-sélective) par la taille (sélective)

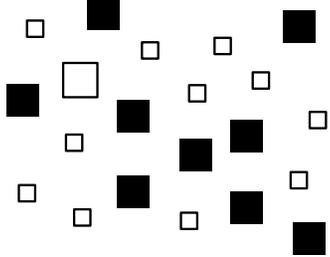


FIGURE 7 – Autre exemple classique retravaillé en remplaçant la forme (non-sélective) par la taille (sélective)

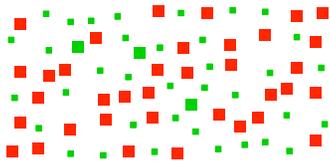


FIGURE 8 – Autre exemple trompeur retravaillé en remplaçant la forme (non-sélective) par la taille (sélective)

Proposition de test de l'induction erronée

L'exemple classique est une falsification de la théorie selon laquelle l'être humain est capable de percevoir une conjonction de variable visuelle. Comme nous l'avons dit, il est souvent impliqué que l'exemple permet d'induire que l'hypothèse contraire, c'est-à-dire que la conjonction n'est pas pré-attentive, est vraie. L'explication donnée par Ware par exemple est que le système perceptif humain n'est pas capable de s'ajuster selon deux variables visuelles. Cependant, il faut revenir à la tâche et à l'expérimentation précises. C'est bien l'hypothèse que la conjonction *entre forme et teinte* n'est pas pré-attentive qui a été falsifiée par l'exemple classique. Il nous paraît important de ne pas s'arrêter à l'utilisation de la forme dans les expérimentations et nous pensons qu'il est nécessaire de tester d'autres variables visuelles avant de pouvoir prétendre généraliser.

Afin de tester l'assertion qu'il n'est pas possible de percevoir de façon pré-attentive une conjonction d'instanciation de variables visuelles *quelles qu'elles soient*, nous allons utiliser des exemples de conjonction utilisant des variables visuelles qui sont toutes sélectives. En d'autres termes, il est nécessaire d'exclure des exemples la variable visuelle « forme », car cette dernière n'est pas pré-attentive. Notons à ce stade que la plupart des expérimentations citées utilisent la forme [5, 10].

Ainsi, nous avons retravaillé les exemples classiques en remplaçant la variable visuelle « forme » par la variable visuelle « taille » (figures 6, 7, 8). Nous formons l'hypothèse que les résultats d'une expérimentation similaire à celle de Healey et al utilisant la taille à la place de la forme donnerait de

meilleurs résultats, voire concluraient à la préattentivité de la conjonction selon la définition de Healy et al (<250ms). La plausibilité de cette hypothèse peut être appuyée par le raisonnement suivant. La tâche demandée aux sujets est de dire s'ils pensent qu'un élément cible présentant une conjonction, auquel ils ont été exposés préalablement (par ex. le grand objet bleu de la figure 6), est présent dans une scène affichée durant moins de 250ms. Une stratégie possible pour un sujet est de diviser la tâche expérimentale en deux sous-tâches : sélectionner l'ensemble des bleus, puis parmi ce groupe, trouver le grand ; ou alors dans le sens inverse sélectionner l'ensemble des grands, puis parmi ce groupe, trouver le bleu. Dans les deux cas, il est fait appel à une tâche de sélection utilisant des variables visuelles sélectives (teinte et taille) que le sujet est préparé à exécuter.

Conjonctions pour les tâches de l'Infovis

Comme nous l'avons dit précédemment, nous pensons que la conjonction de variables visuelles fait partie des phénomènes qui constituent l'essence même de la visualisation d'information. Cette section vise à soutenir ce propos.

La tâche de l'exemple classique est une tâche de détection de cible. Une telle tâche expérimentale trouve une correspondance dans les tâches réelles d'un utilisateur de systèmes de visualisation : il s'agit de tâche de recherche d'un élément connu parmi d'autres afin d'en tirer des informations issues de la découverte de son voisinage, ou de tâche de détection fortuite d'intrus que l'utilisateur ne cherchait pas.

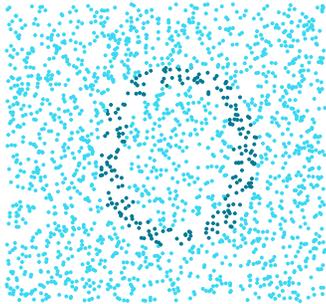


FIGURE 12 – lum

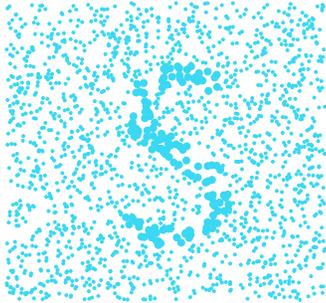


FIGURE 13 – size

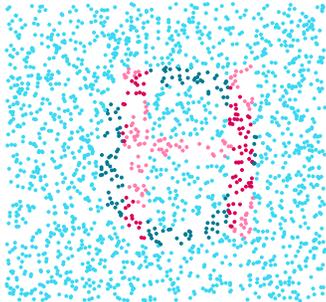


FIGURE 14 – hue-lum

forme l'hypothèse que les lecteurs n'ayant pas de défaut de perception visuelle y arrivent aussi. L'auteur est aussi conscient du caractère peu étayé de cette affirmation, puisqu'elle ne fait appel qu'au jugement du lecteur (à l'instar des auteurs précédents quand ils tentent de convaincre le lecteur de la non-préattentivité des conjonctions). Les exemples montrés devraient néanmoins susciter chez le lecteur un doute raisonnable quant à l'hypothèse habituellement admise que la conjonction de variables visuelles n'est pas pré-attentive.

Notons que nous ne demandons pas au lecteur de déterminer s'il est possible de percevoir un groupe formé par une variable visuelle *malgré* la présence de groupes formés par d'autres variables visuelles (par exemple, tous les sombres quelle que soit leur taille ou leur teinte). Il s'agit là d'une autre tâche, dite de séparabilité.

S'il s'avère vérifié expérimentalement, nous pensons que ce phénomène est d'une grande importance pour la visualisation d'information car il constitue l'essence même de l'intérêt de l'infovis. En effet, si les variables des données sont encodées avec ces variables visuelles sélectives, alors un utilisateur sera capable de percevoir pré-attentivement les conjonctions de variables visuelles, et par conséquent les corrélations entre données. Ainsi, les conjonctions communément admises entre les variables visuelles planaires (X et Y de l'écran) et une seule variable visuelle rétinienne (taille, teinte, luminosité) (p.ex. « tous les rouges sont en haut à gauche ») seraient complétées par des corrélations impliquant plusieurs variables visuelles planaires (p.ex. « tous les gros rouges sont en haut à gauche »).

Formulation de nouvelles hypothèses

Ce constat nous permet de formuler des hypothèses plausibles de capacité des êtres humains à percevoir des conjonctions de variables visuelles :

- recherche : les sujets sont capables de trouver de façon pré-attentive une cible présentant une conjonction de deux variables visuelles (parmi luminosité, teinte, taille) dans une scène contenant des détracteurs ;
- groupe : les sujets sont capables de percevoir de façon pré-attentive des groupes de marques présentant une conjonction de deux variables ou trois visuelles parmi (luminosité, teinte, taille).

Les hypothèses nulles correspondantes à falsifier expérimentalement sont les suivantes :

- recherche : les sujets ne sont pas capables de trouver de façon pré-attentive une cible présentant une conjonction de deux variables visuelles (parmi luminosité, teinte, taille) dans une scène contenant des détracteurs ;
- groupe : les sujets ne sont pas capables de percevoir de façon pré-attentive des groupes de marques présentant une conjonction de deux ou trois variables visuelles parmi (luminosité, teinte, taille).

Nous laissons le soin au présent lecteur de juger par lui-même de la plausibilité de ces hypothèses nulles : si les hypothèses nulles ne sont pas falsifiées expérimentalement, pourquoi le présent lecteur serait-il persuadé d'être capable de percevoir des groupes de conjonctions de variable visuelle sans difficulté dans les figures 14 à 17 ?

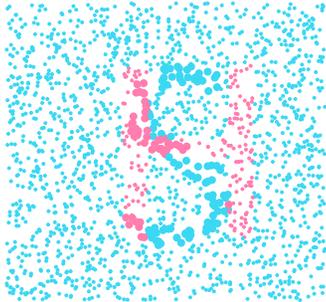


FIGURE 15 – hue-size

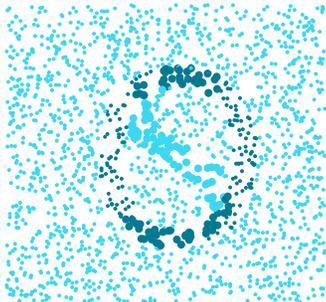


FIGURE 16 – lum-size

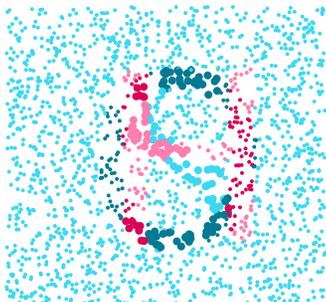


FIGURE 17 – hue-lum-size

Menaces sur la validité

Les exemples nous permettant d'émettre ces hypothèses ont des caractéristiques spécifiques. Ainsi, les surformes sont des formes que nous avons appris à reconnaître : elles pourraient être un biais à l'expérimentation, voire une condition nécessaire à la perception pré-attentive. Par ailleurs, le nombre de valeurs différentes par variable visuelle est de deux seulement, alors qu'il pourrait être plus grand pour des scènes réelles : la perception serait-elle toujours pré-attentive avec plus de valeurs ? Enfin, le caractère dissociatif [1] de la taille et de la luminosité peuvent avoir une influence sur le caractère pré-attentif des conjonctions.

Ces préoccupations sont importantes. Elles devraient être prise en compte dans la formulation des hypothèses plausibles présentées dans la section précédente. Nous ne l'avons pas fait pour ne pas alourdir la formulation, et aussi parce que cela nécessite un travail supplémentaire de compréhension des phénomènes hors de la portée de cet article. Il convient de noter cependant que les travaux que nous avons cités formulent des conditions expérimentales très peu complexes.

Néanmoins, nous avons commencé à explorer ces aspects pour vérifier la solidité des hypothèses. Par exemple la figure 18 montre une scène complexe pour laquelle : la luminosité est modulée par une surforme O ; la taille et la teinte sont modulées par une même fonction aléatoire (et donc présente des conjonctions disposées aléatoirement) ; enfin du bruit a été introduit : il assombrit quelques marques hors de la surforme O, et agrandit ou colorie certaines marques sans conjonction. Pourtant, il semble toujours possible

de constater deux conjonctions sans surforme : 1. la plupart des bleus sont petits, et 2. la plupart des rouges (y compris les roses) sont gros. Il semble donc que la perception des conjonctions est possible même dans des scènes complexes.

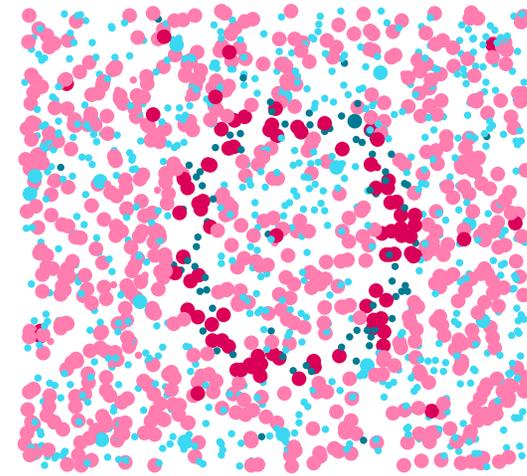


FIGURE 18 – Conjonctions complexes

Conclusion

Dans cet article, nous avons discuté de la perception pré-attentive des conjonctions de variables visuelles. Nous avons remis en cause les inductions que font plusieurs auteurs à partir d'une expérimentation qui montre que la perception de conjonction avec la variable visuelle forme n'est pas préattentive. Nous estimons que l'exemple classiquement présenté est trompeur, notamment à cause des propriétés faibles de sélectivité de la forme en tant que variable visuelle. Nous avons produit plusieurs exemples et observations pour avancer une falsification plausible de cette induction. À partir de ces exemples et observations,

nous avons formulé des hypothèses de capacité des êtres humains à percevoir des conjonctions de variables visuelles qui contredisent les théories répandues dans la littérature, ainsi que les hypothèses nulles correspondantes à falsifier.

Même si le lecteur, comme l'auteur, a un doute raisonnable sur la solidité des hypothèses nulles face à l'expérimentation, le présent article a-t-il une importance et doit-il être publié même en l'absence de vérification expérimentale ? A cette question, nous apportons la réponse suivante. Si l'on admet que la science ne consiste pas seulement en la vérification d'hypothèse, mais qu'elle est aussi un programme de construction collectif, le simple fait de formuler des hypothèses plausibles dont les conséquences paraissent importantes est une avancée. L'intérêt de tels travaux est de permettre d'en discuter entre chercheurs, de raffiner les hypothèses et les explications sous-jacentes, et de permettre à d'autres chercheurs de les vérifier expérimentalement. De plus, s'il s'avère vérifié expérimentalement, nous pensons que ce phénomène est d'une grande importance pour la visualisation d'information car il constitue l'essence même de l'intérêt de l'infovis.

Plus prosaïquement, il convient de rappeler que la forme est très peu sélective. Aussi, toute tentative de généralisation à partir d'expérimentation impliquant la forme devrait susciter de la circonspection chez le chercheur. Sur un plan plus pratique, la plupart des tentatives de lecture pré-attentive partielle ou globale [1] de représentations produites par des systèmes infovis est vouée à l'échec si ces représentations utilisent la forme [1].

Références

- [1] Bertin J. *Sémiologie graphique : les diagrammes, les réseaux, les cartes*. École Des Hautes Études En Sciences Sociales, Paris, 1999.
- [2] Conversy S. Unifying textual and visual : A theoretical account of the visual perception of programming languages. In Proc. *Onward ! 2014*, ACM (2014), 201–212.
- [3] Conversy S., Chatty S. & Hurter C. Visual scanning as a reference framework for interactive representation design. *Information Visualization* 10, 3 (2011), 196–211.
- [4] Fekete J.-D. & Plaisant C. Interactive information visualization of a million items. In Proc. *INFOVIS '02*, IEEE Computer Society (2002), 117–.
- [5] Healey C. G., Booth K. S. & Enns J. T. Visualizing real-time multivariate data using preattentive processing. *ACM Trans. Model. Comput. Simul.* 5, 3 (1995), 190–221.
- [6] Lyons P. & Moretti G. Colour in computer interfaces. In Proc. *IHM'01* (2001).
- [7] MacEachren A. *How maps work : representation, visualization, and design*. New York : Guilford Press, 1995.
- [8] Nordfang M. & Wolfe J. Guided search for triple conjunctions. *Attention, Perception and Psychophysics* (2014).
- [9] Spence R. *Information Visualization : Design for Interaction (2d Edition)*. Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, NJ, USA, 2007.
- [10] Treisman A. Preattentive processing in vision. *Comput. Vision Graph. Image Process.* 31, 2 (1985), 156–177.
- [11] Ware C. *Visual Thinking : For Design*. Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, CA, USA, 2008.