

Effets des paramètres graphiques sur la perception visuelle : experimentations sur la forme, la surface, l'orientation des objets et la définition des écrans

Gilles Tabart, Sylvie Athènes, Stéphane Conversy, Jean-Luc Vinot

► To cite this version:

Gilles Tabart, Sylvie Athènes, Stéphane Conversy, Jean-Luc Vinot. Effets des paramètres graphiques sur la perception visuelle : experimentations sur la forme, la surface, l'orientation des objets et la définition des écrans. IHM 2007, 19ème Conférence Francophone sur l'Interaction Homme-Machine, Nov 2007, Paris, France. pp 23-30, 2007, <10.1145/1541436.1541442>. <hal-01021970>

HAL Id: hal-01021970

<https://hal-enac.archives-ouvertes.fr/hal-01021970>

Submitted on 23 Jul 2014

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

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

Effets des Paramètres Graphiques sur la Perception Visuelle : Expérimentations sur la Forme, la Surface, l'Orientation des Objets et la Définition des Ecrans

Gilles Tabart (a), Sylvie Athènes (b,c), Stéphane Conversy (a), Jean-Luc Vinot (b)

DGAC/DSNA/DTI R&D (b)
ENAC – LIHHS/IRIT (a)
LAPMA (c)

{athenes, conversy, tabart, vinot}@cena.fr

DGAC/DSNA/DTI R&D
7, avenue Edouard Belin
B.P. 4005

31055, Toulouse CEDEX, France

RESUME

Les IHM de systèmes critiques, comme les images radar, utilisent des représentations graphiques adaptées pour coder un nombre de plus en plus grand d'informations. Cette évolution pose le problème de la perception et de la lisibilité des objets affichés, notamment des objets de petite taille. Les propriétés graphiques de l'interface doivent impérativement incorporer l'effet des interactions entre couleurs, formes et surfaces de ces objets sur la perception visuelle. D'autre part, l'évolution des technologies d'affichage logicielles et matérielles doit être intégrée pour préserver le rendu initial. L'objectif de cet article est de construire une connaissance systématique des interactions entre les variables graphiques en fonction des caractéristiques des technologies d'affichage. Nous avons réalisé deux expérimentations sur l'effet de la taille, de la forme et de la luminosité d'un objet, ainsi que de son contraste par rapport au fond. Les résultats montrent que la perception d'un objet dépend de l'interaction entre sa taille à l'écran, son contraste avec le fond et la luminosité du fond. En outre, pour les petits objets, la perception est affectée par l'interaction entre la luminosité et l'arrangement des pixels qui les composent. Nous concluons en décrivant les conséquences de ces résultats sur les perspectives offertes en terme de conception des interfaces.

MOTS CLES : Expérimentation, perception, luminosité, taille, contraste, pixels, interfaces critiques, vérification.

ABSTRACT

User interfaces of critical systems, such as air traffic control displays, use graphical objects to code for an ever increasing amount of information. This evolution brings forth concerns about the detection and identification of the displayed objects, in particular for small size objects. First, graphic properties of the interface should include some knowledge about the interplay between colour, shape and size interactions, and the visual perception. Second, the redesign of any interactive system should take into account the particularities of the evolving software and hardware display technology (pixel size and structure,

for example) in order to preserve crucial aspects of the initial visual display. The two experiments described in this paper are aiming towards building a more systematic knowledge of graphic properties interactions per se, and their changes as a function of display technologies. More precisely, we examined the effect of the object size, shape and luminosity, as well as its contrast with the background. Results show that object perception is dependent upon its size, its contrast with the background and the overall luminosity of the background. Furthermore, for small size objects, interactions between pixel luminosities and pixel arrangement greatly influence their perception by the human eye.

CATEGORIES AND SUBJECT DESCRIPTORS: H.5.2 User Interfaces - Screen design, Ergonomics, Evaluation/methodology

GENERAL TERMS: Experimentation, Measurement, Verification, Human Factors

KEYWORDS: Experimentation, perception, brightness, size, contrast, pixels, critical GUI, verification.

INTRODUCTION

Les systèmes interactifs fournissent des informations sous forme graphique, par assemblage d'éléments basiques comme des glyphes (textes ou symboles), des lignes ou des formes disposés sur des fonds. Les éléments sont caractérisés par des variables visuelles comme leur couleur, orientation, forme, taille ou épaisseur. L'assemblage des éléments affichés à l'écran constitue le *rendu*. C'est la perception visuelle du rendu qui permet à un utilisateur de comprendre les données représentées. Si la perception est faussée, la compréhension est erronée. Dans des situations critiques, comme celles que l'on rencontre dans le domaine de l'aéronautique, les erreurs de perception peuvent avoir des conséquences dramatiques.

Les problèmes de perception proviennent de plusieurs facteurs : les valeurs des variables visuelles des objets représentés ; les interactions entre variables visuelles ; les écrans dont les caractéristiques diffèrent ; l'ambiance lumineuse extérieure ; etc. Il existe des recommandations émises par des organismes comme Eurocontrol, la NASA [11] ou la FAA [5], concernant par exemple les contrastes à respecter entre fonds et détails, et permettant d'éviter un ensemble d'erreurs. Cependant, la tendance actuelle est à l'augmentation de la densité des informations

affichées, et donc à une diminution de l'espace disponible. Les éléments visuels utilisés sont portés par des formes dont l'épaisseur est de plus en plus fine, approchant un pixel de large. Par exemple, une image radar affichée par un écran de 2560x1600 pixels peut contenir plusieurs milliers d'éléments visuels de 1 pixel de large (voir figure 1). De plus, la multiplication des variables visuelles mises en oeuvre dans les IHM engendre un plus grand nombre d'interactions entre éléments graphiques, que les concepteurs ont de plus en plus de mal à maîtriser. Les recommandations générales ne suffisent plus.

Dans l'objectif de réunir des informations plus précises sur ces interactions, nous présentons les résultats de deux expérimentations. La première expérience s'intéresse à l'effet de la taille et de la forme des objets en fonction de la luminosité du fond. La seconde a pour but de vérifier l'hypothèse selon laquelle l'arrangement des pixels qui constituent un objet joue très fortement sur la lisibilité de cet objet.

Nous présentons d'abord un ensemble de problèmes de rendu rencontrés par les concepteurs d'interface. Puis nous présentons dans l'état de l'art les éléments de solution à ces problèmes. Nous présentons ensuite les deux expérimentations et les commentaires



Figure 1 : Illustration de petits éléments visuels sur une image radar ODS

PROBLEMES DE RENDU

Dans cette section, nous présentons plusieurs exemples de problèmes de rendu, en émettant pour chacun des hypothèses sur leur cause. Les exemples sont issus du domaine aéronautique, et illustrent des situations rencontrées dans un cadre opérationnel par les concepteurs d'interface et les auteurs de cet article. Ils concernent essentiellement les problèmes de perception de la couleur.

Dans un premier temps, nous considérons la couleur comme une variable visuelle caractérisée par ses deux composantes de luminosité et de chromacité. La couleur a plusieurs rôles dans une interface[13]. Elle permet à un premier niveau de perception de distinguer les éléments visuels par des contrastes (lumineux ou de teinte) suffisamment élevés. Elle est aussi utilisée pour typer des éléments, en les associant à des informations d'état par exemple. On utilise également ses propriétés d'association (le fait que les objets soient perçus comme appartenant à un même groupe) ou la séparation (le fait que les objets soient perçus comme appartenant à des groupes différents) [1].

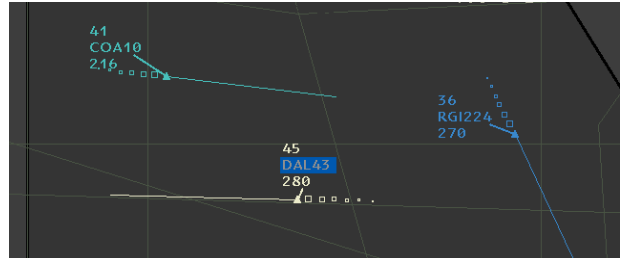


Figure 2 : Interaction surface - luminosité entre éléments de couleurs proches

Le premier problème de rendu concerne l'interaction entre la surface des objets et le contraste avec le fond. Dans la figure 2, le bleu utilisé en fond de l'indicatif du vol DAL43, paraît beaucoup plus lumineux sur l'écran que le même bleu utilisé pour coder les glyphes et la piste, beaucoup plus fins, du vol voisin. L'effet a deux explications possibles. Premièrement, la perception dépend de la taille des objets. Un contraste suffisant pour la distinction d'une forme à une taille (surface) donnée ne l'est pas forcément pour une forme identique mais visuellement plus petite.

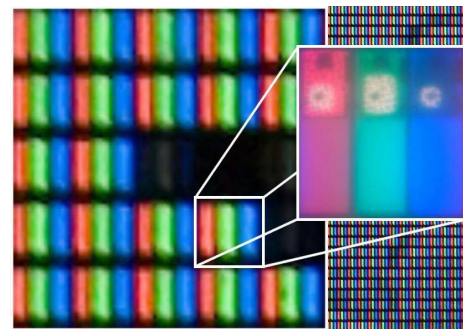


Figure 3 : Illustration des pixels et sous pixels sur un écran LCD

Deuxièmement, l'épaisseur de certains traits constitutifs des glyphes et lignes est de 1 ou 2 pixels, ce qui réduit leur luminosité. Le problème semble venir du fait que les pixels les plus isolés sur cette grille sont « mangés » en luminosité par leurs voisins, phénomène qui touche notamment les pixels arrangés en diagonale. La discrétisation des formes sur des écrans a donc une influence sur la perception. Les techniques d'anti-crênelage permettent de pallier les artefacts liés aux faibles résolutions, mais elles sont peu adaptées à notre problématique. Si elles permettent d'augmenter la reconnaissance des formes, elles ont pour conséquence de diminuer le contraste entre le contour de la forme et le fond tout en augmentant la largeur des formes pixellisées (figure 4) [6]. Ceci n'est pas envisageable, car les surfaces d'affichage sont trop restreintes par rapport au nombre d'information à afficher : les étiquettes des vols ont été conçues au pixel près, et augmenter la largeur des formes contenues dans l'étiquette n'est pas possible. La discrétisation explique aussi la différence de rendu entre les écrans LCD et CRT. En effet, les sous-pixels des écrans LCD diffusent moins de lumière que les sous-pixels des écrans émissifs CRT et provoquent à même distance visuelle moins d'effets de fusion optique des composantes. En d'autres termes, les sous-

pixels LCD « bavent » moins que les sous-pixels CRT (figure 3). Les formes sont donc moins « remplies », et les contrastes et les interactions entre les objets sont différents de ceux obtenus sur un écran CRT. Nous avons constaté en contexte opérationnel que le remplacement d'écrans de contrôle CRT par des écrans LCD modifiait de façon importante les interactions entre couleurs de l'application.

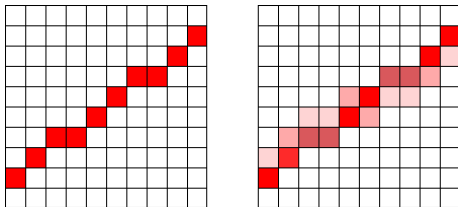


Figure 4 : Ligne avec et sans antialiasing, contraste des contours diminués et surface augmentée.

Le deuxième problème de rendu concerne l'association ou la séparation d'entités à l'écran grâce à leurs couleurs. Dans l'avionique, lors de la conception d'une nouvelle génération d'interface, les concepteurs ont souvent pour contrainte de réutiliser les codes couleur des interfaces opérationnelles. Cependant, on demande aussi à ces concepteurs d'ajouter de nouvelles informations à percevoir. Ils résolvent ce problème en insérant de nouvelles teintes ou en ajoutant des couleurs dérivées des couleurs originales, par exemple en modifiant leur luminosité. Les concepteurs sont ainsi contraints de choisir des couleurs proches dans un espace de couleurs restreint. Par exemple, une des interfaces de contrôle de trafic aérien utilise quatre bleus différents pour typer des objets. La proximité des couleurs est telle qu'elles peuvent être confondues, prévenant ainsi l'association et la séparation.

Enfin, le fait d'utiliser des visualisations dynamiques, dans lesquelles les variables visuelles des objets évoluent, rend la conception et l'analyse difficile. Par exemple, dans une image radar, un objet représentant un vol se déplace sur des fonds différents, chacun des fonds ayant une interaction différente avec l'objet graphique. Afin de garantir les propriétés comme l'identification du type d'un vol par sa couleur et quelque soit le fond, il faut s'assurer que les interactions entre couleurs conservent des contraintes minimales de séparation.

Les exemples précédents montrent que les interactions entre les variables visuelles sont multiples. La perception des couleurs dépend de la forme, de la taille, de l'arrangement des pixels, et du fond. Pour répondre aux problèmes évoqués, il est nécessaire de disposer de mesures des interactions entre variables visuelles. La section suivante présente les connaissances associées à ces problèmes.

ÉTAT DE L'ART

Les travaux concernant la perception visuelle humaine proposent en général des résultats d'expérimentations faites à l'aide de lumières projetées par des diodes. Les protocoles utilisés pour ces expérimentations peuvent servir de base pour construire les nôtres. Cependant, les

résultats ne sont pas directement utilisables pour répondre à des questions relatives aux interfaces rendues par des technologies d'affichage comme les écrans LCD.

Les variables visuelles que nous étudions sont celles de la sémiologie graphique introduite par Jacques Bertin [1] : taille, valeur, couleur, grain, orientation et forme. Bertin y introduit la notion de dissociabilité des variables, c'est-à-dire le fait qu'une variable peut-être manipulée sans interagir avec un autre. [15] présente les interactions entre forme, composition, taille, la couleur etc, mais la présentation n'est pas assez précise pour nos besoins.

[2] présente l'influence du contraste chromatique, de la position et de la longueur d'un élément sur les performances en termes de temps de recherche sur des interfaces contenant plusieurs éléments colorés de même luminosité. Après avoir éliminé les effets du positionnement et de la longueur des éléments à rechercher, le contraste chromatique permet de diminuer de moitié le temps de recherche de ces éléments. [10] propose un outil de conception d'un ensemble de couleurs harmoniques. Le modèle de contraintes sur lequel est basé l'outil intègre la surface et la durée d'affichage pour chaque couleur. D'autres organismes comme la NASA[11], la FAA [5], la W3C[16] ont également émis des recommandations à ce sujet.

Dans [3], Cynthia Brewer propose un ensemble de recommandations à propos de l'utilisation de la couleur pour des applications de visualisation de l'information ou de cartographie. Elle y décrit quatre différents systèmes d'utilisation de la couleur correspondant à quatre types d'arrangement des couleurs (qualitatif, binaire, divergent et ordonné/séquentiel). [12] expose une étude sur les effets de la luminosité et de la couleur sur la vitesse de recherche et de lecture. Il y est montré que le contraste lumineux influe sur les performances surtout pour les caractères de petite taille ($<0,2$ deg d'angle visuel). En revanche, le contraste de couleur en teinte et saturation n'est pas suffisant pour maintenir une bonne vitesse de perception sauf pour les très gros caractères (supérieur à 1 deg). Dans [14] sont présentés des résultats sur l'acceptation, l'aspect, la clarté et la beauté de lettres aliasées sur des écrans LCD. Ils recommandent pour ce type d'écran d'avoir une densité minimale de pixel de 5 pixels/mm soit 120 ppi, et d'être situé à 50 cm de distance. Les paragraphes suivants donnent plus de détails sur la définition de la couleur et sur les outils pour la mesurer ou la modeler.

La couleur : définitions, modèles et outils

Modèles de couleur: L'oeil humain comporte deux types de récepteurs : les bâtonnets captent la luminosité selon un axe de composants opposés noir-blanc, et les cônes captent la couleur selon deux axes de composants opposés rouge-vert et bleu-jaune. La CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) définit des modèles standardisés pour la couleur : espace « physique » CIE XYZ et espace CIE La^*b^* , homogène avec la perception visuelle humaine. L'espace LCH(ab) permet d'exprimer la couleur selon ses trois composantes : Luminosité, Chroma (ou saturation) et Hue (ou teinte).

Des outils matériels et logiciels basés sur les résultats des travaux menés par la CIE ou d'autres organismes permettent de mesurer la couleur, de la corriger en fonction de son environnement lumineux ou de garantir le rendu d'une couleur indépendamment du dispositif d'affichage.

Delta E : Le modèle de couleur CIE $L^*a^*b^*$ étant proche de notre perception visuelle, la mesure des différences chromatiques visuelles revient à mesurer des distances euclidiennes entre couleurs dans ce modèle. Le Delta E [8] est la formule de mesure des distances « perceptuelles » entre deux couleurs.

CIECAM02 : Le modèle colorimétrique CIE $L^*a^*b^*$ est un modèle restreint à la modélisation de couleurs isolées. Ils ne considèrent pas les interactions chromatiques ou lumineuses entre couleurs. CIECAM02 (Color Appearance Model 2002)[4] permet de corriger une couleur afin qu'elle soit perçue de la même manière sur des fonds de luminosités différentes. Dans le calcul réalisé par cet outil correctif, les influences de la taille ou de la forme des éléments à corriger ne sont cependant pas prises en compte.

Profils ICC : Le problème des différences de rendu des couleurs entre afficheurs est traité par l'International Color Consortium (ICC) [9]. L'ICC a défini un système de profils décrivant la manière dont les périphériques rendent les couleurs. Ces profils contiennent des informations colorimétriques sous forme de coordonnées ($L^*a^*b^*$, RGB ou CMJN) et permettent de faire le lien entre les coordonnées théoriques d'une couleur à atteindre et les transformations colorimétriques à appliquer pour réellement atteindre cette couleur. Pour les écrans, il s'agit de profils RGB. En transitant par un espace de couleur standard, il est possible de passer d'un périphérique à l'autre en gardant une continuité au niveau du rendu des couleurs. Cette continuité n'est pas parfaite car chaque périphérique de rendu de couleur a un gamut propre (ensemble fini de couleurs atteignables). Les profils ICC permettent de simuler sur un support le rendu d'une couleur tel qu'il serait affiché sur un autre support, ou de donner des informations de rendu sans avoir accès au support.

EXPÉRIMENTATIONS

Afin d'explorer l'effet des variables graphiques sur la perception des éléments composant une interface, nous avons effectué deux expérimentations. La première expérience s'intéresse à l'effet de la taille et de la forme des objets en fonction de la luminosité du fond. La seconde a pour but de vérifier l'hypothèse selon laquelle l'arrangement des pixels qui constituent un objet (par exemple, un trait vertical par opposition à une diagonale) joue très fortement sur la lisibilité de cet objet. Pour ce faire, des sujets adultes devaient identifier (expérience 1) ou percevoir (expérience 2) des formes qui s'affichaient sur un écran.

Pour la première expérience, nous avons fait l'hypothèse que la diminution de la taille des objets entraînerait une augmentation du contraste de luminosité nécessaire à leur

identification. Nous attendions également un effet de la forme, une ligne fine de même surface étant, par exemple, plus facilement « mangée » par le fond qu'un carré de même surface. Enfin, nous pensions que la luminosité du fond (clair ou foncé, par exemple) devait jouer un rôle sur la quantité de contraste nécessaire pour y identifier un objet.

Pour la seconde expérience, nos hypothèses portaient sur la configuration des pixels formant une ligne. En effet, si l'on considère une ligne d'un pixel d'épaisseur, une orientation horizontale ou verticale sera affichée en juxtaposant les pixels bord à bord, tandis qu'une orientation diagonale impliquera une juxtaposition des pixels « coin à coin ». Dans ce dernier cas, la luminosité de chaque pixel sera davantage « mangée » par la luminosité du fond et la ligne devrait être moins bien, voire pas du tout, perçue. Cet effet devrait être d'autant plus marqué que le contraste entre la ligne et le fond est faible.

Dispositif expérimental : Le dispositif était le même pour les deux expériences. Les sujets étaient assis devant un écran LCD Iiyama ProLite H540 S (21 pouces, 96 dpi, réglages inchangés pour tous les sujets, profil ICC effectué) dans une salle avec un éclairage gardé identique pour tous les sujets (lumière indirecte). L'utilisation d'une mentionnière a permis de garder la même distance à l'écran (56 cm) pour tous les sujets. A cette distance, un trait de 1cm sur l'écran correspond à 1 degré d'angle visuel en rétine centrale.

Expérience 1

Méthode :

Sujets : Huit sujets ont participé à l'expérience (une femme et 7 hommes, d'âges allant de 20 à 53 ans, deux portaient des lunettes).

Tâche et protocole expérimental : Les sujets devaient reconnaître la forme d'objets de différentes tailles qui s'affichaient un à un au milieu de l'écran. Dès que la forme était reconnue, ils devaient cliquer sur une souris et nommer cette forme (carré, rectangle ou trait) à voix haute.

Pour chaque sujet, après lecture des instructions, une séquence d'apprentissage présentait le dispositif ainsi que les différentes formes qui seraient affichées au cours de l'expérience. L'expérience proprement dite était composée de quatre séries de 90 objets, chaque série correspondant à une luminosité de fond d'écran différente (noir, blanc ou gris, voir Figure 5 et plus bas pour plus de détails). Chaque objet apparaissait progressivement au centre de l'écran, par incrément d'un niveau de luminosité toutes les 400 ms (par incrément d'un digit des 3 valeurs R, G et B du code de la couleur). Le sujet cliquait sur la souris dès qu'il pouvait identifier la forme, puis la nommait à voix haute pendant la pause d'une seconde laissée avant l'apparition de l'objet suivant. L'expérimentateur notait la réponse du sujet comme correcte ou fautive. Afin de limiter la fatigue visuelle, le sujet s'arrêtait quelques instants à la

fin de chaque série de 90 essais. Ces 90 essais correspondaient à neuf formes présentées 10 fois chacune de manière pseudo-aléatoire sur une luminosité de fond donnée. L'ordre de passage des séries changeait pour chaque sujet suivant deux carrés latins.



Figure 5 : Fonds possibles de présentation des objets.

Variables indépendantes : Les variables manipulées étaient la forme (carré avec un ratio longueur/hauteur de 1:1, rectangle avec un ratio de 3:2, ou trait avec un ratio de 36:1) et la taille (36, 576 ou 20736 pixels) des objets, ainsi que les caractéristiques du contraste de luminosité entre les objets et le fond sur lesquels ils étaient affichés (fond noir/objet clair, fond blanc/objet foncé, fond gris moyen/objet clair et fond gris moyen/objet foncé). Nous avons donc présenté au total neuf objets différents sur quatre fonds (voir Figure 6 pour une illustration).

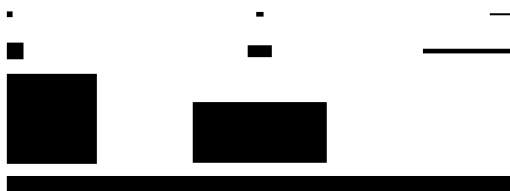


Figure 6 : Formes et tailles possibles pour les 9 objets. (avec des surfaces égales ou ratios égaux)

Résultats et discussion :

La variable dépendante que nous avons mesurée est le contraste de luminosité minimum nécessaire pour reconnaître un objet sur un fond donné, autrement dit la différence entre le niveau de gris de l'objet et celui du fond mesurée lorsque le sujet clique pour indiquer qu'il a reconnu la forme de l'objet.

Dans cette partie, nous rapportons les résultats significatifs au seuil conventionnel de $p = .05$ indiqués par une analyse de variance (ANOVA) à mesures répétées [7] que nous avons effectuée, à l'aide du logiciel STATISTICA, sur le contraste de luminosité minimal. Cette ANOVA a été calculée sur la moyenne des dix essais effectués pour chaque condition, selon le plan 4 Fonds * 3 Formes * 3 Tailles. Dans un souci de simplicité, nous présentons d'abord les effets simples (ne prenant en compte l'effet que d'une variable) puis nous analysons les interactions entre paramètres.

En ce qui concerne les paramètres des objets, nous observons un effet de la taille ($F(2, 14)=132.8$; $p=.000$; un objet plus petit demande plus de contraste pour être identifié : 8.29, 4.51 et 3.08 pour un objet petit, moyen ou gros, respectivement), un effet de la forme ($F(2, 14)=6.3$; $p=.01$; les traits (moyenne = 5.14) nécessitent moins de contraste que les carrés (moyenne = 5.29) qui eux-même nécessitent moins de contraste que les rectangles

(moyenne = 5.50)). En ce qui concerne le contraste de luminosité entre objet et fond, nous observons globalement une différence entre les fonds blanc ($F(3, 21)=82.9$; $p=.000$; moyenne = 6.68) et noir (moyenne = 7.03) d'un côté et les fonds gris (moyenne = 3.71 et 3.83) de l'autre : le contraste minimal nécessaire est moins élevé sur les fonds gris, que l'objet y apparaisse en plus clair ou en plus foncé.

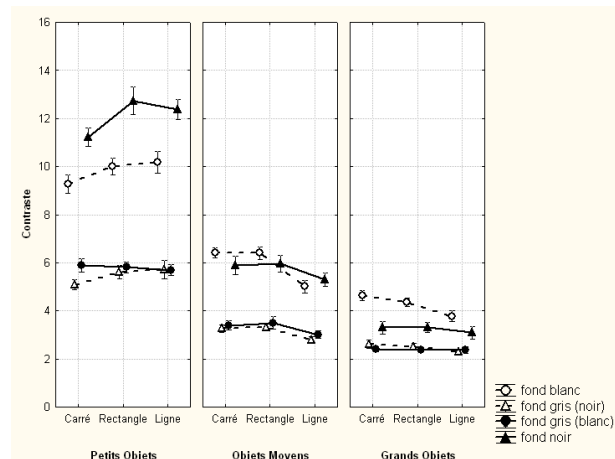


Figure 7: Triple interaction : niveaux de contraste de gris nécessaire en fonction de la taille, de la forme et du fond

Il convient de nuancer les effets globaux des paramètres manipulés. Ainsi que le montre la Figure 7, les objets de petite taille augmentent la différence entre fonds blanc ou noir d'un côté, et fonds gris de l'autre ($F(6, 42)=66.6$; $p=.000$). Bien que de manière moins systématique, la taille de l'objet interagit également avec sa forme : l'identification des petits carrés demande moins de contraste que celle des autres petites formes, tandis que pour les moyens et grands objets, c'est l'identification des traits qui demande moins de contraste ($F(4, 28)=6.3$; $p = .000$). Enfin, l'interaction entre taille, forme et luminosité du fond ($F(12, 84)=3.0$; $p=.001$) indique que sur les fonds noir ou blanc, les seuils minimaux de contraste sont toujours plus élevés que sur les fonds gris, et ce, quelle que soit la taille ou la forme des objets. Sur les fonds gris, les effets de la forme sont globalement non significatifs (sauf pour les petits carrés plus foncés). En revanche, sur les fonds noir ou blanc, l'effet de la forme à taille constante est significatif pour les petits carrés qui demandent plus de contraste que les petits rectangles ou traits d'une part, et les moyens et grands traits qui demandent plus de contraste que les moyens ou grands rectangles ou carrés.

Par ailleurs, il convient de noter que le seuil minimal de contraste de luminosité est différent selon que l'on considère la taille, la forme ou le fond. La différence la plus grande est observée entre petits et grands objets (environ 6 niveaux de luminosité), suivie de la différence entre fonds noir ou blanc et fonds gris (environ 4 niveaux de luminosité). Enfin, l'effet de la forme de l'objet ne porte que sur une différence d'un seul niveau de luminosité.

En résumé, l'essentiel de nos hypothèses est confirmé. Ainsi, on note une augmentation du contraste nécessaire en fonction de la taille des objets, l'effet étant d'autant plus large que l'objet est petit. Comme prévu, cette tendance est globale, mais l'effet est plus ou moins grand selon le fond utilisé, l'empan et le niveau absolu des valeurs de contraste de luminosité étant beaucoup moins importants pour les fonds gris. En outre, les fonds gris permettent d'afficher des objets de petite taille avec les mêmes valeurs de contraste que des objets de taille moyenne ou grande sur fond noir ou blanc. Enfin, on observe que l'effet du fond diminue quand la taille des objets augmente. En revanche, nous n'avons pas observé d'effet systématique en ce qui concerne la forme des objets.

Expérience 2

Méthode :

Sujets : Dix autres sujets ont participé à l'expérience (3 femmes et 7 hommes, d'âges allant de 21 à 49 ans, 5 avaient une vision corrigée).

Tâche et protocole expérimental : Les sujets devaient cliquer sur une souris dès qu'ils percevaient des lignes qui étaient affichées une à une au milieu de l'écran.

Après lecture des instructions, une séquence d'apprentissage d'une vingtaine d'essais permettait au sujet d'appréhender le déroulement de l'expérimentation. Suivaient quatre séries de 192 essais. Un essai correspondait à l'affichage d'une ligne, suivi du clic effectué par le sujet dès qu'il détectait la présence de cet objet sur l'écran. Après un temps aléatoire (variant autour d'une seconde) pendant lequel rien n'était affiché, une nouvelle ligne apparaissait, déclenchant l'essai suivant. Si le sujet ne percevait aucune forme au bout de 2 secondes d'affichage, l'essai suivant était lancé. Tous les 32 essais, le degré d'avancement était affiché et une pause était possible (un point de fixation était alors affiché au centre de l'écran). A la fin de chaque série de 192 essais correspondant à un même fond (gris foncé, gris clair ou gris moyens), le sujet faisait une pause de quelques minutes afin de limiter sa fatigue visuelle. Chaque sujet était soumis aux mêmes conditions expérimentales, mais l'ordre de passage de ces conditions était différent d'un sujet à l'autre.

Cette expérience comprenait 96 conditions différentes, à savoir une ligne de 36 pixels de long, non-antialiasée, pouvant avoir 4 épaisseurs différentes (1, 2, 3 ou 4 pixels), 4 orientations différentes (0° (vertical), 26°, 45° ou 90°) et 6 niveaux de contraste de luminosité (en valeur RGB) par rapport au fond. (cf. Figure 9 pour une illustration à l'aide d'une ligne de 6 pixels de long et un pixel d'épaisseur dans chaque orientation). Nous avons gardé le nombre de pixel constant quelle que soit l'orientation des lignes. Cela conduit à des lignes de longueurs variables (de 1 à 1.5 cm), mais de luminosité a priori égale. Nous avons néanmoins pris soin de ne jamais sortir hors de la zone traitée par la fovéa, soit 2 degrés d'angle visuel. Les 96 conditions étaient présentées deux fois chacune selon un ordre pseudo-aléatoire, la totalité des 192 essais formant

une série. Chaque sujet a effectué 4 séries, chacune présentant une combinaison différente du contraste de luminosité entre le fond et la ligne affichée : fond gris foncé (R=G=B=59) avec lignes plus claires, fonds gris moyen (R=G=B=127) avec soit, lignes plus claires ou soit, lignes plus foncées et fond gris clair (R=G=B=185) avec lignes plus foncées (voir Figure 8). Les valeurs des gris des fonds correspondent sur le périphérique de sortie à des luminosités émises en Lab égales à 38%, 64.4% et 81.8%.



Figure 8 : Ensemble des fonds possibles pour l'affichage des lignes.

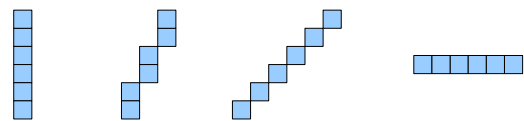


Figure 9 : Orientations possibles pour les lignes : 0, 26, 45 et 90 degrés.

Résultats et discussion :

Dans cette expérience, nous avons mesuré deux variables dépendantes. La première est le pourcentage de lignes perçues. La seconde est le temps de perception, à savoir la durée entre l'affichage d'une ligne et le clic du sujet sur la souris lorsqu'il perçoit cette ligne.

En ce qui concerne le pourcentage de lignes perçues, quel que soit le fond, il est moins élevé pour les lignes de faible épaisseur (80% en moyenne pour une épaisseur de 1 pixel, et 90% à 95% pour une épaisseur de 2 pixels). Parmi les lignes fines (1 et 2 pixels), les lignes orientées à 26 ou 45 degrés sont moins perçues que les lignes horizontales et verticales. La combinaison fond/ligne où les lignes sont le mieux perçues est le fond gris foncé/ligne claire (moyenne=98%), suivie des deux fonds gris moyen/ligne claire ou foncée (moyennes=97% et 96%, respectivement) et, enfin, du fond gris clair/ligne foncée (moyenne=92%).

En ce qui concerne l'analyse des temps de perception, nous avons calculé l'ANOVA sur la moyenne des deux essais effectués pour chaque condition. De plus, afin de ne pas perdre les cas comprenant des lignes non-perçues, nous avons remplacé les temps des essais non-perçus par la moyenne des temps des sujets pour une même condition, à savoir 2.2% des données pour le fond gris/ligne blanche, 4.7% pour le fond blanc, 2.2% pour le fond gris/ligne noire et 0.08% pour le fond noir. Pour cette variable, nous avons effectué 4 ANOVAs à mesures répétées avec 3 facteurs intra-sujets, soit une ANOVA pour chacune des combinaisons fond/ligne. Les variables indépendantes sont l'épaisseur en pixel des lignes, leur orientation ainsi que la valeur de leur contraste de luminosité avec le fond. Le plan de l'ANOVA est le suivant : 4 Epaisseurs *

4 Orientations * 6 Contrastes. Les effets rapportés sont significatifs au seuil conventionnel de $p \leq 0,05$.

Quelle que soit la combinaison fond/ligne, les effets de l'angle, de l'épaisseur et du contraste sont globalement similaires et conformes à nos hypothèses : le temps de perception d'un trait à 45 degrés est supérieur à celui d'un trait à 26 degrés, qui est lui-même supérieur à celui des traits à 0 ou 90 degrés ; le temps de perception augmente quand l'épaisseur de la ligne diminue ; de même, le temps de perception augmente quand le contraste entre ligne et fond diminue.

En dehors de ces résultats globaux, on observe des différences entre les 4 ANOVAs. Autrement dit, les effets de l'épaisseur, de l'orientation et du contraste des lignes doivent être nuancés en fonction de la combinaison fond/ligne. Il faut noter ici que le temps de perception moyen est très différent selon la combinaison fond/ligne considérée : 702 ms pour le fond clair/ligne foncée, 537 ms pour le fond gris moyen/ligne foncée, 518 ms pour le fond gris moyen/ligne claire et 424 ms pour le fond foncé/ligne claire. En ce qui concerne, le fond clair/ligne foncée, l'ANOVA indique une interaction entre l'épaisseur, l'orientation et le contraste ($F(45, 405)=1.7304$, $p=.003$) : on observe un effet de l'orientation de la ligne pour l'épaisseurs de 1 pixel et les faibles contrastes.

Pour le fond gris moyen/ligne foncée, l'ANOVA indique deux interactions, l'une entre l'orientation et l'épaisseur, et l'autre, entre l'épaisseur et le contraste : le temps de perception, généralement plus grand pour les lignes de 1 pixel, est encore plus important pour la ligne orientée à 45° ($F(9, 81)=3.0599$; $p=.003$) ; de même, c'est pour la ligne de 1 pixel que l'effet du contraste est le plus fort, les faibles contrastes augmentant largement les temps de perception. ($F(15, 135)=10.101$; $p=.000$).

L'ANOVA pour le fond gris moyen/ligne claire n'indique qu'une interaction entre l'épaisseur et le contraste : tout comme pour le fond gris moyen/ligne foncée, c'est pour la ligne de 1 pixel que l'effet du contraste est le plus fort, les faibles contrastes augmentant largement les temps de perception ($F(15, 120)=8.3861$; $p=.000$).

En ce qui concerne le fond foncé/ligne claire, l'ANOVA indique trois interactions, entre orientation et épaisseur, entre orientation et contraste, et entre épaisseur et contraste : le temps de perception, globalement plus important pour les lignes de 1 pixel, est encore plus important pour l'orientation à 45° ($F(9, 81)=2.9322$, $p=.005$) ; le temps de perception pour la ligne orientée à 45° n'est véritablement plus long que pour la plus faible valeur de contraste ($F(15, 135)=1.9407$, $p=.024$) ; l'augmentation du temps de perception pour la ligne de 1 pixel est d'autant plus importante que la valeur du contraste est faible ($F(15, 135)=7.3574$; $p=.000$).

Conformément à nos hypothèses, l'arrangement des pixels qui constituent un objet a un effet important sur la détection.

CONSÉQUENCES POUR LA CONCEPTION

La première expérience illustre les interactions multiples entre variables visuelles. Ainsi, on perçoit les objets de petite taille sur un fond gris avec les mêmes valeurs de contraste que des objets de taille moyenne ou grande sur des fonds noir ou blanc. Autrement dit, en passant par exemple d'un fond noir à un fond gris, on peut diminuer la taille d'un objet de 576 à 36 pixels, ou de 20736 à 576 pixels tout en gardant le même niveau de contraste pour identifier les formes des objets. A l'inverse, en passant d'un fond noir à un fond gris, on peut diminuer la différence de luminance entre les objets et le fond tout en gardant la même perception du contraste. On augmente ainsi l'espace de codage disponible.

La deuxième expérience montre que l'arrangement des pixels qui constituent un objet a un effet important sur la détection. Il est vrai que cet effet ne concerne que les lignes très fines (1 ou 2 pixels d'épaisseur) et des faibles valeurs de contraste. Cependant, certains objets comme les textes sur les images radar possèdent ces caractéristiques. En nous basant sur ces résultats, nous avons anticipé les problèmes de perception dus à l'épaississement des fontes lors du passage d'écrans CRT à LCD. La version initiale de la fonte d'origine était caractérisée par des tracés de 1 pixel. Le déploiement d'une nouvelle fonte aux tracés généralisés à 2 pixels nous a conduit à diminuer la luminance pour compenser l'augmentation de contraste due à l'augmentation de surface.

La couleur code souvent une information d'état. Dans les applications ATC, la couleur d'état est spécifiée dans des fichiers de configuration. Cependant, elle s'applique à tous les objets, quels que soient leur tailles, le fond sur lequel elles sont affichées ou l'arrangement de leurs pixels. Il est donc nécessaire de pouvoir spécifier la couleur d'état de base, et d'en dériver des couleurs en fonction de ces paramètres de taille, fond et arrangement. Nous réfléchissons actuellement à la forme que prendrait un outil instrumentant ce travail.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Cet article présente deux expérimentations mesurant les influences multiples de la taille, de la forme, et de l'arrangement des pixels sur la perception des contrastes lumineux avec leur fond. Les résultats de la première expérience montrent que la taille est un facteur influent sur les seuils de perception et que les objets plus petits nécessitent plus de contraste. L'effet est dépendant du fond utilisé, l'empan et le niveau absolu des valeurs de contraste de luminosité étant beaucoup moins importants pour les fonds gris. La seconde expérimentation montre que l'arrangement des pixels qui constituent un objet a un effet important sur la détection, notamment pour les lignes de 1 pixel d'épaisseur et obliques. Nous avons utilisé ces résultats pour les projets de refonte d'interfaces de systèmes critiques de contrôle aérien.

A partir des constatations faites sur les nouvelles technologies d'affichage et des résultats des expérimentations, nous avons exploré l'idée d'un outil permettant d'améliorer

rer l'image de rendu « à la manière des graphistes » : ceux-ci modèrent ou renforcent les contrastes de bordure et modifient subtilement chaque pixel en fonction de son environnement, pour tenir compte des interactions visuelles et « contrôler » le rendu global final. Il s'agirait ici, dans un premier temps, de corriger en luminosité la couleur des pixels composant les objets graphiques nécessitant un rehaussement de « perceptibilité ». Des critères de sélection des pixels candidats à un rehaussement lumineux ont été déterminés à partir des résultats des expérimentations. Les arrangements choisis sont ceux du tableau de la figure 10, c'est à dire les pixels ayant un à quatre pixels de même couleur en diagonale et n'ayant pas ou un seul pixel voisin direct de la même couleur. En prenant cette catégorie de pixel, nous incluons ceux faisant parti de lignes à 26 ou 45 degrés.









Pixels Identiques	0 pixel direct	1 pixel direct
1 pixel diagonale		
2 pixels diagonale		
3 pixels diagonale		
4 pixels diagonale		

Figure 10: Assemblages de pixels candidats à un redressement de luminosité (en bleu, pixels de même couleur)

Le calcul de la moyenne des différences de luminosité avec les pixels voisins différents permet de savoir si l'objet est plus ou moins lumineux que l'environnement proche. Nous rehaussons ou diminuons alors la luminosité du pixel considéré de 14 ou de 18% selon qu'il a un pixel voisin direct identique ou non.

Les premiers essais de cet algorithme sont en cours. Nous comptons évaluer son efficacité, et l'inclure dans les systèmes de rendu si les résultats sont satisfaisants.

REMERCIEMENTS

Ce travail fait partie du projet Kabuki, soutenu par la DSNA/DTI R&D, l'ENAC et le LAPMA-UPS.

BIBLIOGRAPHIE

- Bertin, J. *Sémiologie graphique: Les diagrammes - Les réseaux - Les cartes* (Broché) 1070 pages Editeur : Editions de l'Ecole des Hautes Etudes en Sciences (31 janvier 1999)
- Bodrogi, P. *Chromaticity contrast in visual search on the multi-colour user interface* Displays, Volume 24, Issue 1, February 2003, pp. 39-48
- Brewer, C. A. *Color Use Guidelines for Mapping and Visualization*, In Visualization in Modern Cartography, edited by A.M. MacEachren and D.R.F. Taylor, Elsevier Science, Tarrytown NY, 1994, Chapter 7, pp. 123-147.
- A Colour Appearance Model for Colour Management Systems: CIE CAM02*, CIE, 159:2004, 2004
- Federal Aviation Administration (FAA). (2003). *Human factors design standard (HFDS), HF-STD-001*. Disponible à l'adresse : <http://hf.tc.faa.gov/hfds> (en mars 2007)
- Gupta, S. and Sproull, R. F. 1981. *Filtering edges for gray-scale displays*. In Proceedings of Computer Graphics and interactive Techniques. SIGGRAPH '81. ACM Press, New York, NY, 1-5.
- Hays, L. W. *Statistics for the social sciences*, second edition, Holt, Rinehart and Windston, Inc, 1973.
- Hill, B., Roger, T., and Vorhagen, F. W.. *Comparative analysis of the quantization of color spaces on the basis of the CIELAB color-difference formula*. ACM Trans. Graph. 16, 2, 1997, pp. 109-154.
- Specification ICC.1:2004-10 (Profile version 4.2.0.0) *Image technology colour management : Architecture, profile format, and data structure*, International Color Consortium, 2004.
- Lyons, P. and Moretti, G. *Incorporating Groups into a Mathematical Model of Color Harmony for Generating Color Schemes for Computer Interfaces*, in Proceedings of the 2005 IEEE conference on Virtual Environments, Human-Computer Interfaces, and Measurement Systems, 18-20 July 2005, pp. 80-85.
- NASA Color Usage Website. (2004) disponible à l'adresse : <http://colorusage.arc.nasa.gov> (en mars 2007)
- Ojanpää, H. and Näsänen, R. *Effects of luminance and colour contrast on the search of information on display devices* Displays, Volume 24, Issues 4-5, December 2003, pp. 167-178.
- Reynolds, L. *Colour for air traffic control displays*, Displays, Volume 15, 4, 1994, pp. 215-225.
- Schenkman, B. N. *Appearance, clarity, acceptance and beauty of jagged letters on computer screens* Displays, Volume 24, Issue 1, February 2003, pp. 15-23
- Ware, C. *Information Visualization: Perception for Design*. (2nd Edition) Morgan Kaufman. December, 435 pages, 2004.
- Techniques For Accessibility Evaluation And Repair Tools*, W3C working draft, <http://www.w3.org/TR/AERT#color-contrast>, 2000