Léger, L., Tijus, C & Baccino, T (2006). Disposition spatiale et détection de mots. *Le Travail Humain*, *69(4)*, 349-377.

RECHERCHES EMPIRIQUES

EMPIRICAL STUDIES

DISPOSITION SPATIALE ET DETECTION DE MOTS

TITRE COURT : DISPOSITION SPATIALE ET DETECTION

Laure LÉGER[*], Charles TIJUS[*] et Thierry BACCINO[**]

[*] Université de Paris 8, Laboratoire Cognition & Usages, 2 rue de la Liberté 93526 SAINT DENIS Cedex 02 FRANCE,

[**] Université de Nice Sophia Antipolis, Laboratoire EA 1189 Psychologie Expérimentale et Quantitative ; Pôle Universitaire St Jean d'Angely, 24 avenue des Diables Bleus 06357 NICE cedex 04 FRANCE,

La correspondance est à adresser à Laure Léger : laure.leger@cognition-usages.org

SUMMARY

SPATIAL LAYOUT AND WORDS DETECTION

While looking for a word among a list of words is a daily task and while many studies observed visual effects on visual search, there is no evidence of any spatial layout effects on word detection. Because eye movements might explain visual search performance (Sperandio & Bouju,1983) and because eye movement might depend on spatial location (Colombi & Baccino,2003), we reasoned that detection of a word across words might depend on words spatial organization. We run two experiments recording eye movement's participants on spatial layout of word lists, using gestalt principles of visual organization, such as similarity, continuity and proximity in order to predict visual search. We compared ocular scanpaths and performances using various spatial layouts of words list (lines, columns and both, experiment 1, and two different columns spatial layouts,experiment 2). Main results are that performance and ocular scanpaths differ according to spatial organization and Gestalt principles. Gestalt principles of similarity, continuity and proximity predicted how participants explored the list of words to detect the target. Moreover, performance was found to depend on exploration mode: on columns layouts word detection is faster with a column exploration mode than with a line exploration mode. Finally, we discuss how the whole study provides empirical basis for the design of web interfaces.

Keys words: visual organization, Gestalt principles, word visual search, eyes movement, Web interface

I INTRODUCTION

Rechercher un mot parmi d'autres est une tâche courante. Avec l'utilisation de l'ordinateur ou d'Internet, c'est le cas lorsqu'on cherche un fichier dans un dossier, une commande dans les menus ou encore un lien sur une page Web à partir des mots qui sont affichés sur l'écran. La recherche du mot qui correspond à ce qu'on cherche peut être plus ou moins efficace en termes de rapidité et de réussite. Elle peut être très efficace lorsque ce mot cible se trouve « mis en avant » parce qu'il se distingue visuellement des autres mots, comme dans des situations de pop out (l'objet qui saute aux yeux). Lorsque le mot recherché ne se distingue pas des autres, on peut s'attendre à ce que l'efficacité de la recherche dépende alors conjointement de la position du mot et du parcours oculaire.

Pour pouvoir prédire l'efficacité de la recherche visuelle d'un objet parmi d'autres, nous devons savoir comment les objets perçus dans une même scène visuelle sont appréhendés et parcourus séquentiellement par le regard. D'un côté, l'attention portée sur un objet dépend du trajet en cours du regard : par exemple parcourir de haut en bas une à une les icônes d'une interface détermine l'ordre dans lequel elles seront fixées visuellement. D'un autre côté, les objets sont disposés spatialement les uns par rapport aux autres, et cette disposition détermine une structure spatiale qu'un processus de déplacement oculaire a tout intérêt à exploiter, ne serait-ce que pour minimiser le nombre de saccades. Si tel est le cas, il s'ensuit alors que le type de structure spatiale fourni par la disposition du groupe d'objets détermine finalement la détection de chaque objet. Pour cela, le système cognitif doit disposer d'heuristiques qui lui permettent d'exploiter les structures spatiales. Notre hypothèse est que l'exploration oculaire est déterminée par un ensemble de principes d'organisation perceptive qui permettent l'exploitation des structures spatiales.

Dans cet article, nous présentons les expériences que nous avons menées sur l'effet de la disposition spatiale des informations visuelles à l'écran sur leur détection afin d'explorer les principes d'organisation perceptive qui, selon nous, guident l'exploration oculaire.

I.1 L'EFFET DE LA MISE EN FORME DANS UNE PAGE WEB

L'une des principales activités qui accompagnent l'usage du web est la recherche d'information, généralement de nature lexicale. De ce fait, un des buts de l'ergonomie des interfaces web est d'étudier l'effet du mode de présentation de l'information sur la recherche effectuée par l'utilisateur. Cette présentation visuelle de l'information peut être construite en variant sa structure hiérarchique, sa disposition spatiale à l'écran, ou encore son apparence.

I.1.A L'effet de la structure hiérarchique d'un site sur la détection d'une cible

La structure hiérarchique d'un site concerne sa profondeur, en d'autres termes le nombre de niveaux de pages, et le nombre de liens par niveau. Snowberry, Parkinson et Sisson (1983) observent que les temps de détection de l'item désiré s'améliorent avec la diminution de la profondeur (de 6 niveaux à un seul niveau) et l'augmentation du nombre de liens par niveau : on peut ainsi opposer une structure à 6 niveaux qui présente 2 liens par niveau à une structure à un seul niveau qui présente 64 liens. Zaphiris (2000) observe qu'à nombre de niveaux équivalents (en l'occurrence 2), les temps de réponse sont plus courts lorsque le nombre de liens est le même quel que soit le niveau (8 liens), ou lorsque le niveau le plus haut dans la hiérarchie en comporte moins (4 liens) que le deuxième (16 liens). Les temps de recherche sont plus longs lorsque le niveau supérieur comporte quatre fois plus de liens (16 liens) que le second (4 liens). Cet effet de la disproportion du nombre de liens par niveau confirme des résultats obtenus par Norman et Chin (1988) : pour un certain type de cibles, augmenter le nombre de liens aux niveaux extrêmes du site (le premier et le dernier) par rapport aux niveaux intermédiaires (ici le second et le troisième niveau) facilite la détection de la cible par rapport au cas où la disproportion serait inversée. Cet effet de la structure hiérarchique n'est toutefois trouvé que lorsque la cible est mal définie (par exemple chercher un cadeau pour une femme). Lorsque la cible est bien définie (chercher un collier rouge), le nombre de liens par niveau n'a pas d'effet sur les performances (nombre de pages vues et temps de réponse). Notons que cet effet de la nature du problème, mal ou bien défini, est observé dans l'étude de Norman et Chin (1988) en maintenant constant la profondeur du site (quatre niveaux) : ce qui diffère est le nombre de liens par niveau.

I.1.B Effet de la disposition spatiale dans la page web.

Nous venons de voir que la structure hiérarchique de l'information a un effet sur la facilité de détection d'une cible. La disposition spatiale de cette information au sein d'un même niveau de cette hiérarchie a également un effet sur cette recherche. Il est montré que pour un menu comportant peu d'items (par exemple cinq items pour l'étude de Pearson & van Schaik, 2003) une disposition verticale permet une détection plus rapide de l'information qu'une disposition horizontale (Backs, Walrath & Hancock, 1987 ; Pearson & Van Schaik, 2003 ; Scott & Findlay, 1990). Cette mise en colonne de l'information (disposition verticale) qui facilite la détection d'un item parmi d'autres n'est pas trouvée lorsqu'il s'agit d'un texte. Dyson (2004) relate des études où il est observé que présenter un texte sur plusieurs colonnes ralentit sa lecture par rapport à une présentation en ligne (une seule large colonne). Ainsi Dyson et

Kippling (1997, cité par Dyson, 2004) observent que lire un texte réparti sur une seule colonne comprenant 80 caractères par ligne est plus rapide que de lire ce même texte réparti sur trois colonnes comprenant 25 caractères par ligne.

I.1.C Effet de l'apparence de l'information dans une page web.

Habituellement, dans une page web, les liens hypertextuels qui permettent le passage entre différentes localisations dans le site (soit à l'intérieur d'une même page, soit entre plusieurs pages) ont une apparence particulière : ils sont en général composés de caractères bleus soulignés. Ling et van Schaik (2004) ont montré que modifier cette apparence a un impact sur l'efficacité de la recherche et que cet effet dépend de la localisation dans la page. Leur étude portait sur des pages web qui présentaient cinq liens hypertextuels alignés verticalement à gauche de la page (format d'une barre de navigation) et cinq liens hypertextuels répartis dans un texte situé dans la partie droite de la page web. Ils ont observé que la recherche de l'information cible est plus facile lorsque les liens de la barre de navigation ne sont pas soulignés (mis en gras ou soulignés n'importe pas) et lorsque les liens répartis dans le texte sont mis en gras (soulignés ou non n'importe pas). Comme le soulignent les auteurs, pour qu'un lien contenu dans un texte soit rapidement détectable, il faut qu'il ressorte du texte. Le mettre en bleu et en gras permet d'effectuer cette discrimination plus facilement que de le mettre uniquement en bleu et ceci parce que le reste du texte n'est pas mis en gras.

I.2 EFFET DE LA MISE EN FORME SUR LES PARCOURS OCULAIRES

Comme le soulignent Ojanpää, Näsänen et Kojo (2002), le mot est un item relativement complexe dont la recherche dans un environnement de mots est de nature séquentielle : il est nécessaire d'inspecter un à un les items présents à l'écran pour détecter l'information recherchée (Treisman & Gelade, 1980). Ojanpää, Näsänen et Kojo (2002) ont étudié le comportement de recherche d'un mot-cible dans une liste de mots en variant l'orientation, verticalement (en colonnes) ou horizontalement (en lignes) de la disposition des mots. Ils observent que l'exploration visuelle dépend de l'orientation : lorsque les mots sont disposés en colonnes, le parcours oculaire correspond à une exploration en colonnes ; lorsque ces mots sont disposés en lignes, le parcours oculaire est une exploration en lignes. La mise en forme de la liste de mots, en colonnes ou en lignes, apparaît ainsi comme un autre des facteurs du guidage du parcours de recherche d'un mot (cible) parmi d'autres (distracteurs).

Outre l'effet propre à la mise en forme du texte, il pourrait y avoir une « préférence » du système cognitif humain pour un type de parcours. Colombi et Baccino (2003) observent par exemple une exploration privilégiée en colonnes pour des liens hypertextuels : que les

liens soient disposés en lignes ou en colonnes, les participants parcourent préférentiellement la liste de liens par une exploration en colonnes. Cette différence de résultats avec l'étude de Ojanpää, Näsänen et Kojo (2002) peut provenir du type de matériel employé : des phrases formant des liens hypertextuels dans l'étude de Colombi et Baccino (2003), une liste de mots et un espace important entre deux lignes qui rend un parcours en colonnes difficile dans l'étude de Ojanpää, Näsänen et Kojo (2002).

Les résultats de Colombi et Baccino (2003) sur la préférence de l'exploration en colonnes rappellent ceux de Spérandio et Bouju (1983). Observant les performances selon le mode d'exploration, sans variation de la structure (des nombres disposés dans une matrice de huit lignes sur huit colonnes), Spérandio et Bouju montrent qu'au fil des essais, les participants s'engagent de plus en plus dans une exploration en colonnes au détriment d'une exploration en lignes. Ce faisant, les temps de réponse et les valeurs des variables oculaires associées (nombre de fixations et temps total de fixation) diminuent. L'exploration en colonnes permettrait de détecter plus rapidement une cible qu'une exploration en lignes.

La plus grande rapidité de l'exploration en colonnes corrobore des résultats obtenus par Ojanpää, Näsänen et Kojo (2002) : si la mise en forme, en colonnes ou en lignes, détermine le parcours oculaire sans effet significatif sur les temps de réponse, la présentation en colonnes, engendre toutefois moins de pauses oculaires, des durées de fixation plus importantes et des saccades oculaires de plus faible amplitude que la présentation en lignes. Les auteurs ont ainsi évalué que les participants pouvaient appréhender, en une fixation, jusqu'à quatre mots de six lettres sur la même verticale, contre deux mots au maximum sur l'horizontale.

I.3 LES PRINCIPES D'ORGANISATION VISUELLE SELON LA THEORIE DE LA FORME

Quels sont les déterminants des parcours oculaires ? La structure de la scène visuelle est une variable externe à laquelle sont appliqués des principes internes d'organisation perceptive qui permettent de construire un parcours oculaire parmi tous les parcours possibles. Selon la théorie de la forme (Koffka, 1935 et Wertheimer, 1938), plusieurs principes d'organisation visuelle régissent notre perception d'un objet dans son environnement. Les principes d'organisation visuelle de proximité, de continuité et de similitude, tels qu'ils ont été décrits par la théorie de la forme, pourraient être des principes adéquats s'ils sont de bons indicateurs de l'exploration oculaire.

Selon le principe de proximité sont perçus ensemble tous les objets qui sont proches spatialement. Selon le principe de continuité, sont perçus comme une unité tous les objets qui

sont dans une même direction. Et selon le principe de similitude, sont perçus ensemble tous les objets qui sont similaires.

Dans le cadre d'une tâche de détection d'un mot-cible dans une liste de mots, nous nous attendons à ce que l'application du principe de proximité permette d'abord de distinguer les différentes zones de la liste de mots en regroupant dans une même zone les objets spatialement proches, la transition de zone en zone s'effectuant alors, soit selon le principe de similitude, soit selon le principe de continuité.

Selon le principe de proximité, des zones sont repérées par le regroupement des mots en lignes et colonnes.

Selon le principe de similitude, les zones semblables (par exemple les colonnes de mots) sont d'abord parcourues, puis les zones qui s'en différencient (par exemple les lignes de mots).

Selon le principe de continuité, au fur et à mesure que les zones apparaissent dans le focus attentionnel, elles sont parcourues une à une, par exemple selon un axe directeur haut-bas et gauche-droite.

Les principes de similitude et de continuité permettraient ainsi de prédire le passage de groupes de zones en groupes de zones (parcourir dans un premier temps toutes les lignes puis dans un deuxième temps toutes les colonnes, ou l'inverse) et, dans un groupe de zones de même type, de zone en zone, selon une ligne directrice (parcourir selon l'axe horizontal ou selon l'axe vertical).

En appliquant ces principes internes, que nous supposons, à la construction de la disposition spatiale d'un groupe de mots, il devrait être possible d'orienter le parcours oculaire.

De même, nous référant à la littérature exposée plus haut, nous pouvons supposer que l'organisation spatiale des mots affecte les performances de recherche en termes de rapidité de détection. Par ailleurs, si effectivement une exploration en colonnes de la structure permet une détection plus rapide de la cible (Spérandio & Bouju, 1983), une structure de présentation qui engendre ce mode d'exploration (tous les mots disposés en colonnes) devrait permettre une détection plus rapide qu'une structure qui engendre une exploration en ligne (tous les mots disposés en ligne).

En résumé, nous supposons que la structure de la scène visuelle, à savoir la disposition spatiale des objets qui la composent, en influençant le mode d'exploration oculaire dans lequel s'engage le participant, a un effet sur les performances de détection et que les principes

de proximité, de similitude et de continuité permettent de prédire comment la disposition spatiale influence l'exploration oculaire.

L'étude rapportée ici, a pour premier objectif d'identifier et d'inférer, à partir des principes d'organisation visuelle, des profils d'exploration attendus selon la structure de présentation des mots à l'écran. Un deuxième objectif est de relier ces profils d'exploration aux performances de détection (en termes de temps de réponse). Cette étude permet d'observer si les performances observées pour une structure de présentation peuvent être attribuées à l'utilisation d'un type de lecture particulier comme le suggèrent les résultats de Spérandio et Bouju (1983).

Pour réaliser ces deux objectifs, dans une première expérience, nous avons utilisé quatre structures de présentation qui diffèrent selon la disposition spatiale des mots présentés à l'écran : une structure en colonnes, une structure en lignes et deux structures présentant à la fois des lignes et des colonnes (figure 1).

Afin d'approfondir les résultats obtenus avec la structure en colonnes, nous avons conduit une deuxième expérience pour laquelle nous testons deux structures en colonnes : une structure présentant les six colonnes sur une même horizontale et une structure présentant les six colonnes sur deux horizontales à raison de trois colonnes par horizontale (figure 4).

Lors de ces deux expériences, les mouvements oculaires des participants ont été enregistrés pour obtenir, par l'intermédiaire des pauses oculaires (ou fixations) et de leur succession temporelle et spatiale, les inspections oculaires dans lesquelles les participants s'engagent. La fixation oculaire est le moment pendant l'inspection visuelle où s'effectuent l'acquisition et le traitement de l'information présentée à l'écran (Jacobs & Levy-Schoen, 1987). Influencer la localisation des fixations oculaires par l'intermédiaire des structures visuelles montrerait que celles-ci ont une influence sur le traitement de l'information visuelle.

II METHODE GENERALE

II.1 PARTICIPANTS

Pour chacune des deux expériences, 40 personnes âgées de 18 à 40 ans, de langue maternelle française ont été recrutées. Chaque participant pouvait lire à une distance de 60 cm de l'écran sans correctif oculaire (lunettes ou lentilles). Pour la passation, chacun des participants a reçu une indemnisation de 30 euros.

II.2 DISPOSITIF OCULAIRE

Le dispositif oculométrique utilisé est un modèle ASL E5000**.** Il a pour particularité de déterminer la position de l'œil sur un environnement à deux dimensions à partir du reflet cornéen et du reflet pupillaire. Il échantillonne ces reflets toutes les 20 ms et accepte une erreur de localisation de 0,5 cm. Quand la phase de calibrage est effectuée (calibrage sur 9 points répartis sur l'écran du participant), le dispositif associe à ces caractéristiques la position de l'œil en données cartésiennes (x,y), ce qui nous fournit la localisation de la fixation oculaire ainsi que sa durée.

II.3 CONSTRUCTION DU MATERIEL

Pour chacune des deux expériences, 48 listes de 32 mots pour la première expérience et de 48 listes de 24 mots pour la seconde expérience ont été établies. La sélection des mots a été effectuée à partir de la base de données BRULEX (Content, Mousty & Radeau, 1990) qui associe à chaque entrée sa fréquence lexicale.

Les mots qui constituent les listes sont tous des substantifs singuliers de 5 à 7 lettres dont la fréquence lexicale est comprise entre 101 et 1000 occurrences pour 100 000 000. La fréquence lexicale moyenne des listes est comprise entre 362 et 379 occurrences pour 100 000 000 et l'écart-type est compris entre 243 et 263. L'ANOVA indique qu'il n'y a pas de différence significative de fréquence lexicale entre les listes de mots ($F(47 ; 1488)=0,009$; $p=.99$, ns).

Les mots sont affichés à l'écran en police Arial 16 points, de couleur noire, à des emplacements qui déterminent la structure de présentation. L'attribution de chaque mot à l'un des emplacements de la structure a été déterminée par un tirage aléatoire sans remise. Ainsi, à chaque liste est associée la localisation spatiale de chacun des mots pour chacune des structures de présentation.

II.4 PROCEDURE

Accueilli dans la salle expérimentale, chaque participant est informé que ses mouvements oculaires seront enregistrés et que l'expérience se déroule en trois phases : une phase de calibrage de l'oculomètre, une phase d'entraînement et une phase de test.

Le participant est ensuite invité à s'installer le plus confortablement possible sur le siège en face du moniteur (écran de 21 pouces, couleur, 32 bits de résolution, 1280 x 1024 pixels), en calant son menton dans une mentonnière pour éviter les déplacements de la tête. Que ce soit pour la phase d'entraînement de dix essais, ou pour la phase de test de 48 essais,

nous avons repris le paradigme de Treisman et Gelade (1980) qui consiste à faire détecter si oui ou non, un objet préalablement présenté fait partie du groupe d'objets qui est affiché. Pour la réalisation de cette tâche, l'expérimentateur délivre au participant la consigne qui spécifie la tâche (détecter un mot particulier parmi d'autres), les modalités de réponse (clic et dire oui ou non à haute voix) et qui demande de répondre le plus justement et le plus rapidement possible.

Un essai débute avec la présentation du mot-cible à rechercher. Le clic effectué par le participant déclenche la présentation du groupe de mots dans l'une des structures de présentation et lance l'enregistrement des mouvements oculaires pour l'essai en cours qui se termine avec le clic et la réponse verbale.

Pour chacune des deux expériences, l'ordre de présentation des 48 essais, - une liste par essai -, a été déterminé aléatoirement pour chaque participant. La passation terminée, le protocole comprend 48 segments oculaires qui correspondent aux 48 essais effectués par le participant, ainsi que les réponses et les temps de réponse associés à chaque essai.

La durée totale de chaque passation (consigne, calibrage, phase d'entraînement et phase expérimentale) était comprise entre 10 et 30 minutes selon la plus ou moins grande difficulté de calibrage.

II.5 ANALYSES DES DONNEES

Le taux de réussite moyen par structure est obtenu en rapportant le nombre de réussites au nombre d'essais. Le temps de réponse moyen pour chaque structure est la moyenne des temps de réponse pour les essais réussis. Les explorations oculaires ont été déterminées par la localisation des fixations et leur ordre d'apparition lors de l'essai. Pour chaque condition expérimentale, nous avons rapporté le nombre d'occurrences d'un mode d'exploration sur le nombre d'explorations ayant pu être identifiées, c'est-à-dire comprenant suffisamment de fixations oculaires pour permettre d'identifier un type de parcours oculaire. Pour déterminer la proportion des parcours oculaires, nous avons calculé la fréquence d'occurrence d'un type d'exploration (par continuité, par similitude, autre) par sujet pour chaque structure et par essai pour chaque structure. Les analyses sont effectuées en prenant comme variable aléatoire, les variables participants et essais. Elles consistent dans un premier temps à voir si les différentes structures engendrent un mode d'exploration particulier et, dans un second temps, à voir si une structure engendre plus d'explorations par continuité ou par similitude que les autres structures. Lorsque la variable aléatoire prise en compte est la variable participant nous avons moyenné pour chaque participant les performances obtenues sur tous les essais d'une même

condition expérimentale. Lorsque la variable aléatoire prise en compte est la variable essai nous avons moyenné pour chaque essai d'une même condition expérimentale les performances obtenues par tous les participants.

Enfin, notons que nous n'avons observé aucune réponse du type fausse alarme : un participant détectant une cible alors qu'elle est absente. Ce cas de figure est totalement absent de nos données.

III EXPERIENCE 1

Quatre structures, présentées dans la figure 1, sont utilisées pour tester nos hypothèses sur le type d'inspection visuelle et les performances de détection. L'intérêt d'utiliser des structures hybrides comprenant deux types de zones (des zones de colonnes et des zones de lignes) réside dans l'apparition d'un principe d'organisation perceptive supplémentaire par rapport aux structures plus classiques (LIGNES ou COLONNES) pour la transition d'une zone à une autre. La question posée est celle de savoir si le principe de similitude s'appliquera plus souvent aux structures hybrides que le principe de continuité. D'autre part, nous voulons observer si la préférence pour le principe de similitude se retrouve pour les deux structures ou plutôt pour l'une d'entre elles.

<< INSERER FIGURE 1>>

Fig.1. — Les structures visuelles de présentation des listes de mots utilisées dans l'expérience 1.
Layouts of words lists used in experiment 1.

Notre hypothèse est que le type de structure détermine le type d'inspection visuelle et finalement la performance. Les prédictions sur le parcours oculaire sont illustrées avec la figure 2.

Nous référant aux résultats de Spérandio et Bouju (1983), nous nous attendons également à ce qu'une structure qui engendre une inspection en colonnes soit parcourue plus rapidement qu'une structure qui engendre une inspection en lignes et plus rapidement qu'une structure qui engendre une inspection mixte.

III.1 METHODE

III.1.A Matériel

Le matériel comprend 48 listes de 32 mots disposés selon l'une des quatre structures visuelles : LIGNES, COLONNES, HYBRIDE1 et HYBRIDE2 (figure 1). Chaque ligne comprend 8 mots et chaque colonne en comprend 4. Chaque structure est répétée 12 fois.

Chaque essai comprend une cible à détecter : par exemple le mot « enfance ». Pour chaque passation, la cible est présente pour 36 essais et absente pour 12 essais. La répartition des listes dans les deux groupes (cible présente, cible absente) a été faite au hasard. La répartition des 36 cibles à chacun des 32 emplacements a été équilibrée (1,125 occurrences en moyenne). Le nombre d'occurrences de la cible à chacun de ces 32 emplacements ne diffère pas significativement selon la structure visuelle ($F(3 ; 124)=0,146$; $p=.93$, ns).

III.1.B Plan expérimental

Le plan expérimental de l'étude est $S_{40} * P_4 * E_{12}$ où S_{40} représente les 40 participants, P_4 les quatre structures visuelles (LIGNES, COLONNES, HYBRIDE1 ET HYBRIDE2) et E_{12} les 12 essais par type de structure.

III.1.C Codage et analyse des données

Pour l'analyse des parcours oculaires, les structures visuelles ont été découpées en zones. Une zone correspond à un groupement de mots selon un mode colonnes ou lignes. Les zones sont ordonnées et codées numériquement de haut en bas et de gauche à droite (figure 2 et 3). Ce découpage permet de repérer les zones successivement fixées dans lesquelles les fixations se succèdent et d'identifier le type de parcours suivi par un participant à chaque essai.

Une exploration par continuité produit un parcours des mots au fur et à mesure qu'ils apparaissent dans le focus attentionnel selon une ligne directrice (du haut vers le bas ou de la gauche vers la droite).

Pour la structure LIGNES, un parcours par continuité est défini lorsque les deux conditions suivantes sont satisfaites : un minimum de 3 fixations sur une même ligne avant le passage à une autre ligne et une succession spatiale et temporelle des lignes, croissante (de 1 à 4) ou décroissante (4 à 1). Si l'une de ces deux conditions n'est pas remplie, nous qualifions le parcours du participant comme « autre ».

Pour la structure COLONNES, un parcours par continuité est défini par un minimum de deux fixations successives par colonne et par une succession spatiale et temporelle des zones

parcourues, croissante (de 1 à 8) ou décroissante (de 8 à 1). Si l'une de ces deux conditions n'est pas remplie, nous qualifions le parcours du participant comme « autre ».

<< INSERER FIGURE 2>>

Fig 2 — Schématisation des explorations par continuité pour les dispositions en lignes et en colonnes.
Representation of ocular explorations by continuity for row and column layouts.

Pour les structures HYBRIDES, un parcours par continuité est défini comme une succession de 3 fixations au moins lorsqu'il s'agit d'une ligne ou de 2 fixations lorsqu'il s'agit d'une colonne et par la succession spatiale et temporelle des zones parcourues d'une manière croissante (1 à 6) ou décroissante (6 à 1).

Une exploration par similitude conduit à inspecter les zones qui présentent des caractéristiques communes avant d'inspecter les autres zones (par exemple inspecter toutes les lignes puis toutes les colonnes, ou l'inverse).

Un parcours par similitude est défini par le même nombre minimum de fixations par zone. En revanche, la succession temporelle des zones dépend du type de zone et du type de structure. Pour la structure HYBRIDE1, un parcours par similitude est un parcours ordonné de toutes les colonnes (C2, C3, C4, et C5 ou l'inverse) puis de toutes les lignes (L1 et L6 ou L6 et L1), ou l'inverse : toutes les lignes puis toutes les colonnes. Pour la structure HYBRIDE2, un parcours par similitude correspond au parcours ordonné de toutes les lignes (L3 et L4 ou L4 et L3), puis de toutes les colonnes (C1, C2, C5 et C6 ou C6, C5, C2, C1), ou inversement : toutes les colonnes puis toutes les lignes. Lorsque le parcours observé ne correspond à aucun des deux types de parcours décrits précédemment, nous le déterminons comme étant « autre ».

Les parcours selon la disposition des mots à l'écran sont représentés schématiquement dans la figure 2 pour les structures COLONNES et LIGNES et dans la figure 3 pour les structures HYBRIDE1 et HYBRIDE2.

<< INSERER FIGURE 3>>

Fig 3 — Schématisation des explorations par continuité et par similarité pour les dispositions hybrides.
Representation of ocular explorations by continuity and by similarity for each of the two hybrid layouts.

Pour l'analyse des explorations oculaires, 305 des 1920 segments oculaires (soit 15,89 % de nos données) comportaient un nombre de fixations trop faible pour déterminer le type de parcours. Les 1615 parcours oculaires exploitables ont été codés en types

d'exploration oculaire : par continuité ou par similitude. Les analyses sur le profil de lecture ont été effectuées par une ANOVA.

III.2 RESULTATS

Lorsque les participants, S, sont considérés comme source de variation aléatoire, le plan d'analyse pour les structures LIGNES et COLONNES est le plan $S_{40}*I_2$ où I_2 représente les deux inspections oculaires pouvant être observées pour ces deux structures : exploration par continuité (en ligne ou en colonne selon la structure considérée) et exploration autre. Le plan d'analyse pour les structures HYBRIDES est le plan $S_{40}*I_3$ où I_3 représente les trois inspections oculaires pouvant être observées sur ces structures : exploration par continuité, exploration par similitude et exploration « autre ».

Lorsque les essais, E, sont considérés comme source de variance aléatoire, le plan d'analyse pour la structure COLONNES ou la structure LIGNES est le plan $E_{12}*I_2$ où E_{12} représente les 12 essais de la structure (8 cibles présentes et 4 cibles absentes) et I_2 les inspections oculaires (par continuité ou autre). Le plan d'analyse pour les structures HYBRIDES est le plan $E_{12}*I_3$ où I_3 représente les 3 inspections oculaires (par continuité, par similitude, autre).

Dans le tableau 1 sont présentées les fréquences d'occurrences de chaque type d'exploration avec le résultat de l'analyse ANOVA correspondante (selon la variance aléatoire considérée).

TABLEAU 1

Fréquence d'occurrence des types d'exploration visuelle selon la disposition spatiale et les valeurs du F associé selon la source de variation aléatoire (participants et essais).

Frequency of ocular strategies according to the words list layouts and related F values as a function of random variance (participants and trials).

<< INSERER TABLEAU 1>>

Comme le montre le tableau 1, une exploration par continuité est observée surtout pour les structures LIGNES et HYBRIDE2. La structure HYBRIDE1, quant à elle, présente dans des proportions équivalentes une exploration par continuité et une exploration par similitude, mais dans des proportions supérieures à une exploration autre. En revanche, contrairement à nos attentes, la structure COLONNES, telle qu'elle est construite ici, ne permet pas d'obtenir une forte proportion d'explorations par continuité.

Nous avons également analysé l'effet de la structure sur les modes d'exploration. Nous avons mis dans la même catégorie les explorations par continuité et par similitude pour les structures HYBRIDE afin de pouvoir comparer nos quatre structures dans un même plan. Selon que la variance aléatoire considérée est la variable « participants, S » ou la variable « essais, E », le plan est respectivement $S_{40}*P_4$ ou $E_{12}*P_4$, où P_4 représente les 4 structures de présentation des mots à l'écran (COLONNES, LIGNES, HYBRIDE1 ET HYBRIDE2).

Quelle que soit la variable aléatoire considérée, la structure de présentation des mots à l'écran a un effet significatif sur les explorations observées ($F(3 ; 117)=14,46$; $p<.01$ pour la variance aléatoire « participants » et $F(3 ; 33)=48,1$; $p<.01$ pour la variance aléatoire « essais »). Les structures HYBRIDE engendrent significativement plus d'explorations attendues (par continuité et par similitude) que les structure COLONNES ou LIGNES ($F(1 ; 39)=30,34$; $p< .01$, pour la variance aléatoire « participants » et $F(1 ; 11)=198,52$; $p<.01$ pour la variance aléatoire « essais »).

Ainsi, sauf pour la structure COLONNES, nous observons les types de parcours attendus : le type d'inspection visuelle semble bien être influencé par les principes d'organisation spatiale qui régissent la structure. Le principe de proximité permet de prédire la distinction entre les lignes et les colonnes de la liste de mots. Les principes de similitude et de continuité permettent de prédire la transition entre les lignes ou entre les colonnes.

Un autre résultat concerne l'application assez importante du principe de similitude comme mode de transition entre les zones pour la structure HYBRIDE1 par rapport à la structure HYBRIDE2. En effet, pour la structure HYBRIDE1, on observe autant d'explorations par similitude que d'explorations par continuité, ce qui n'est pas le cas pour la structure HYBRIDE2. Ce résultat peut s'expliquer par la localisation du premier point de fixation oculaire des participants sur la liste de mots avant de commencer l'exploration. Pour la structure HYBRIDE1, dans 55,6 % des cas, les participants débutent l'exploration par la zone centrale (les quatre colonnes) contre 39,2 % pour la ligne du haut et 5,2 % pour la ligne du bas ($X^2(2 ; N=389)=15,74$; $p<.01$). Privilégier la zone centrale par rapport aux autres zones peut s'expliquer par le fait que cette zone centrale présente un grand bloc d'information (celle qui est contenue dans les colonnes). Commencer par cette zone centrale engendre majoritairement une exploration par similitude (51,6 %) par rapport aux autres modes d'exploration (18,3 % par continuité et 30,1 % autre ; $X^2(2 ; N=213)=36,54$; $p<.01$). En revanche, pour la structure HYBRIDE2, les participants débutent l'exploration surtout par les deux colonnes du haut de la liste : 90,4 % des observations contre 4,8 % pour les deux lignes du centre et pour les deux colonnes du bas de la liste ($X^2(2 ; N=414)=605,39$; $p<.01$).

Commencer par cette zone supérieure, pour la structure HYBRIDE2, engendre dans 68,5 % des cas une exploration par continuité, contre 18,5 % par similitude et 13 % autre (X^2(2 ; N=374)=209,14 ; p<.01). Par ailleurs, cette proportion d'explorations par similitude, observée pour les structures HYBRIDE, indique que le type d'inspection visuelle dans lequel le participant s'engage ne respecte pas le plus souvent la lecture traditionnelle occidentale de gauche à droite et de haut en bas.

En conclusion, mis à part pour la structure en colonnes, l'organisation spatiale des mots à l'écran semble bien guider la prise d'information du contenu de la liste de mots. Cette prise d'information respecte ici un ordre qui correspond aux prédictions qu'il est possible de faire en considérant les trois grands principes d'organisation décrits par la théorie de la forme : le principe de proximité pour identifier les groupes d'items et les principes de continuité et de similitude pour parcourir ces groupes.

III.3 DISCUSSION

Les résultats de cette première expérience sont compatibles avec la plupart des prédictions qui découlent des principes d'organisation perceptive décrits par la théorie de la forme : un principe de proximité qui permet de regrouper les items et de différencier les groupes d'items, un principe de continuité et un principe de similitude qui guident le parcours dans cette structure de groupes. Ainsi, sauf pour la structure COLONNES, l'exploration de la scène visuelle, dans le cadre d'une recherche d'un mot-cible parmi 32 candidats, suit un parcours qui semble bien être influencé par ces trois principes d'organisation perceptive. De la sorte, à partir de la disposition spatiale, on peut inférer le mode d'exploration dominant. Ce résultat renforce l'hypothèse selon laquelle le participant se laisse guider par la structure visuelle, et par les principes cognitifs d'organisation visuelle, pour parcourir le contenu d'une scène visuelle à la recherche d'une cible.

Toutefois, contrairement aux attentes, la structure COLONNES n'a pas entraîné une exploration par continuité, c'est-à-dire une exploration colonne par colonne. Ce résultat peut s'interpréter par la nature du matériel COLONNES utilisé qui présente deux particularités. D'une part, il s'agit de la seule structure qui ne correspond pas au principe de « bonne forme » développé par la théorie de la forme. Contrairement aux structures LIGNES et HYBRIDE1 qui, globalement, forment un rectangle, et à la structure HYBRIDE2 qui forme plutôt une croix, la structure COLONNES n'a pas une telle bonne forme, aussi bien délimitée. Le non-alignement des colonnes induit plutôt une vague. D'autre part, outre le non-alignement des zones dans la structure COLONNES, le peu d'espace entre deux colonnes consécutives ne

permet peut-être pas de distinguer nettement les huit zones qui forment les colonnes. En revanche, les parcours observés sur la structure HYBRIDE1 montrent que les participants effectuent bien une exploration par continuité sur les colonnes centrales de cette structure. La seule différence entre la structure COLONNES et la structure HYBRIDE1, du point de vue des colonnes, outre le nombre de colonnes, concerne l'espace entre deux colonnes consécutives (de 21 pixels pour la structure COLONNES contre 73 pixels pour la structure HYBRIDE1). La faible fréquence d'explorations par continuité observée avec la structure COLONNES pourrait provenir du faible écart spatial entre deux colonnes successives, qui rendrait difficile l'application du principe de proximité pour distinguer les différentes colonnes.

Une seconde expérience a été réalisée avec un matériel constitué uniquement de colonnes disposées soit sur une seule horizontale, soit sur deux horizontales. Ce nouveau matériel permet de tester l'hypothèse d'un mode d'exploration en colonnes et l'hypothèse selon laquelle une exploration en lignes serait plus longue qu'une exploration en colonnes.

IV EXPERIENCE 2

La structure COLONNES du matériel de l'expérience 1 n'a pas permis d'obtenir une exploration en colonne. Si en modifiant l'espace inter-colonnes, et en alignant strictement les colonnes, nous obtenons une exploration en colonnes, nous aurions l'indication qu'il ne suffit pas d'avoir des colonnes à l'écran pour obtenir une exploration en colonnes : des critères d'agencement doivent être respectés. L'objectif de cette seconde expérience est également d'étudier les différences de performances entre une exploration en lignes et une exploration en colonnes sur une même structure. Les hypothèses relatives à cette expérience sont, comme précédemment, relatives aux types de parcours dans lesquels les participants s'engagent et aux effets de la structure de la scène visuelle sur les performances de détection.

Ces hypothèses ont été testées sur deux structures en COLONNES : une structure présentant six colonnes sur une même horizontale (codée 1x6-COL) et une structure présentant six colonnes sur deux horizontales, à raison de trois colonnes par horizontale (codée 2x3-COL) (figure 4).

<<INSERER FIGURE 4 >>

Fig. 4. —Structures visuelles de présentation des listes de mots dans l'expérience 2.

Words lists layouts used in experiment 2

Avec l'utilisation des deux structures en colonnes 1x6-COL et 2x3-COL, nous pouvons nous attendre à une exploration différente suite à l'application du principe de continuité.

Avec la structure 1x6-COL une exploration par continuité devrait se traduire par l'exploration des mots de la première colonne (la colonne la plus à gauche ou la plus droite), puis celle des mots de la seconde colonne et ainsi de suite, jusqu'à ce que la cible soit détectée ou, dans le cas contraire, une exploration jusqu'à la dernière colonne.

Avec la structure 2x3-COL, on trouve soit deux blocs d'information (chaque bloc est représenté par un ensemble de trois colonnes sur une même horizontale), soit trois blocs (chaque bloc est représenté par un ensemble de deux colonnes sur une même verticale). Deux modes d'exploration par continuité sont attendus. Le premier type d'exploration consiste à parcourir les mots de la première colonne de la première horizontale jusque la dernière colonne de cette même horizontale, puis à effectuer le même parcours pour la deuxième horizontale (continuité horizontale). Dans ce cas, le principe de proximité est mis en œuvre à deux niveaux : à un niveau global qui permet de distinguer les deux horizontales, puis à un niveau local qui permet de distinguer les colonnes d'une même horizontale. Le deuxième type d'exploration par continuité consiste à lire les mots de la première colonne de la première horizontale, puis ceux de la première colonne de la deuxième horizontale, puis à effectuer le même type de parcours sur les colonnes suivantes (continuité verticale). Dans ce cas, le principe de proximité permet de distinguer dans un premier temps trois grandes verticales, puis plus précisément les colonnes comprises dans chaque verticale.

Enfin, nous supposons que nous pouvons, mais dans une moindre mesure, obtenir un mode d'exploration en lignes : exploration de tous les mots disposés sur une première ligne puis ceux de la ligne suivante. Ce mode d'exploration en lignes résulterait uniquement de l'application du principe de continuité, qui pourrait avoir comme source la lecture d'un texte. Nous nous attendons à ce que ce mode d'exploration soit plus fréquent sur la structure 1x6-COL que sur une structure 2x3-COL puisque la structure 1x6-COL permet une organisation en quatre lignes contre huit lignes pour la structure 2x3-COL.

Tous ces modes d'exploration attendus sont illustrés dans la figure 5 pour la structure 1x6-COL et dans la figure 6 pour la structure 2x3-COL.

<<INSERER FIGURE 5 >>

Fig. 5. —Modes d'exploration pour la structure 1x6-COL
Ocular scanpath for the 1x6-COL layout

<<INSERER FIGURE 6 >>

Fig. 6. —Modes d'exploration pour la structure 2x3-COL
Ocular scanpath for the 2x3-COL layout

Enfin, nous nous attendons à ce qu'une exploration en lignes soit plus longue qu'une exploration en colonnes. Les temps de réponse observés devraient être plus longs pour la structure 1x6-COL que pour la structure 2x3-COL, ceci par une plus grande fréquence des explorations en lignes avec la structure 1x6-COL qu'avec la structure 2x3-COL.

IV.1 METHODE

IV.1.A Matériel

Le matériel comprend 48 listes de 24 mots répartis selon deux structures d'organisation visuelle en colonnes. Chaque structure comporte six colonnes de quatre mots. La différence entre les deux structures d'organisation concerne la disposition des six colonnes : sur une ou sur deux horizontales (figure 4).

L'espacement entre deux colonnes successives étant plus important que dans la première expérience (45 pixels contre 21 dans l'expérience précédente), nous n'avons pu aligner plus de six colonnes sur la même horizontale en respectant les critères de taille des mots et de résolution de l'écran. Ceci explique la différence du nombre de colonnes utilisées entre la première et la deuxième expérience, et la diminution du nombre de mots (de 32 à 24). Cette diminution devrait toutefois avoir pour conséquence une détection plus rapide de la cible, un nombre plus faible de fixations, mais aussi une diminution du nombre de parcours oculaires identifiables. Pour compenser cet effet, nous avons choisi d'augmenter le ratio cible présente/cible absente par rapport à l'expérience 1 de telle sorte que les participants soient amenés à parcourir plus souvent tous les groupes de mots et à fournir ainsi plus de parcours oculaires identifiables : la cible est présente pour 24 listes de mots et absente pour les 24 autres. La répartition des listes dans les deux groupes (cible présente ou cible absente) a été faite au hasard. La moyenne des occurrences de la cible à chacun des 24 emplacements est de 0,5 pour les deux structures : la répartition spatiale de chaque cible dans les 24 emplacements est ainsi équivalente pour les deux structures de présentation visuelle 1x6 COL et 2x3-COL.

IV.1.B Plan expérimental

Chacune des deux structures est présentée 24 fois à chaque participant. Le plan expérimental de cette expérience est S_{40} * P_2 * E_{24} où S_{40} représente les 40 participants, P_2 représente la structure de présentation visuelle de la liste, 1x6-COL ou 2x3-COL, et E_{24} les 24 présentations de chaque structure.

IV.1.C Codage et analyse des données

Pour identifier les modes de parcours oculaires effectués par les participants lors de la réalisation de la tâche, nous avons procédé comme dans l'expérience précédente à un découpage des structures visuelles en zones numérotées de 1 à 6 et identifié les types de parcours à partir des transitions d'une zone à l'autre.

Pour la structure 1x6 COL, un parcours en colonne de la liste de mots se définit par une ou deux fixations sur une colonne avant le passage à la colonne suivante (parcours des zones de 1 à 6 ou de 6 à 1). Une exploration en lignes se définit par une fixation par colonne, et par un parcours des colonnes de la gauche vers la droite (ou l'inverse), puis à effectuer un autre, voire plusieurs autres passages en sens inverse. Les fixations doivent être localisées sur le haut des zones au premier passage, et en bas des zones au deuxième passage (ou l'inverse).

Pour la structure 2x3 COL, deux types de parcours en colonnes sont prédits. Un premier parcours en colonnes se définit par la succession des zones numérotées de 1 à 3 (ou de 3 à 1) puis de 4 à 6 ou de 6 à 4. Ce type de parcours consiste à explorer les zones de la première horizontale puis celles de la seconde horizontale (ou l'inverse). Nous le qualifions d'exploration horizontale en colonnes. Un deuxième parcours se définit par la succession des zones 1 et 4 (ou l'inverse), puis des zones 2 et 5 (ou l'inverse), et enfin des zones 3 et 6 (ou l'inverse). Ce parcours consiste à explorer en premier les colonnes les plus à gauche, puis celles du centre et enfin celles de droite (ou l'inverse). Nous le qualifions d'exploration verticale en colonnes. Pour cette structure, une exploration en lignes consiste à lire ligne par ligne les zones du haut, puis les zones du bas.

Lorsqu'un parcours oculaire n'a pu être catégorisé comme étant l'un de ces types d'exploration, nous le qualifions de « autre ».

Les analyses sur les performances ont été effectuées sur l'intégralité des protocoles des 40 participants. Pour l'analyse des types de parcours, un nombre insuffisant de fixations n'a pas permis de coder le parcours oculaire pour 22 % des observations. L'analyse porte sur 1499 des 1920 observations.

IV.2 RESULTATS

Dans un premier temps, nous exposons les analyses relatives au type de parcours puis les résultats relatifs aux performances de détection.

IV.2.A Types d'exploration oculaire

Pour la structure 1x6-COL, lorsque les participants, S, et les essais, E, sont considérés comme source de variance aléatoire, le plan d'analyse est respectivement le plan $S_{40}*I_3$ et le plan $E_{24}*I_3$ où I_3 représente les explorations en colonnes, en lignes et autre. Pour la structure 2x3-COL, lorsque les participants, S, et les essais, E, sont considérés comme source de variance aléatoire, le plan d'analyse est respectivement le plan $S_{40}*I_4$ et le plan $E_{24}*I_4$ où I_4 représente les parcours en colonne selon l'horizontale, selon la verticale, en lignes et autre.

Le tableau 2 présente les fréquences d'occurrences des modes d'exploration selon la structure visuelle et les résultats des ANOVAS selon la nature de la variation aléatoire considérée (sujet ou essai).

TABLEAU 2

Fréquence des occurrences des types de parcours observés dans l'expérience 2, selon de la structure visuelle 1x6-COL ou 2x3-COL de la liste de mots et les F associés, en fonction de la nature de la variation aléatoire (participants ou essais).

Frequency of ocular strategies according to the words lists layouts of as observed in experiment 2 with related F value as a function of random variance (participants or trials).

<< INSERER TABLEAU 2>>

Comme attendu, la structure 1x6-COL engendre surtout des parcours en colonnes, par rapport aux parcours en lignes et autre. Pour la structure 2x3-COL, toutes les différences de fréquences sont significatives : on observe surtout une exploration en colonnes, et plutôt sur un mode horizontal (exploration de toutes les colonnes de la première horizontale avant l'exploration des colonnes de la seconde horizontale) et très peu un mode de lecture en lignes.

Pour mesurer l'effet de la structure sur l'exploration en colonnes, nous avons regroupé sous une même catégorie l'exploration verticale et horizontale en colonnes observée sur la structure 2x3-COL afin de pouvoir comparer les deux structures 1x6-COL et 2x3-COL. Comme le montre le tableau 2, quel que soit le type de variance aléatoire envisagée, la structure 2x3-COL engendre significativement plus d'explorations en colonnes que la structure 1x6-COL ($F(1 ; 39)=74,17$; $p<.01$ pour la variance aléatoire « participants » et $F(1 ; 23)=194,58$; $p<.01$ pour la variance aléatoire « Essais »).Inversement la structure 1x6-

COL engendre significativement plus d'explorations en lignes que la structure 2x3-COL ($F(1 ; 39)=55,04$; $p<.01$ pour une variance aléatoire « participants », $F(1 ; 23)=159,22$; $p<.01$ une variance aléatoire « Essais »).

En résumé, nous avons obtenu une exploration en colonnes sur la structure COLONNES en augmentant l'espace entre deux colonnes successives et en supprimant l'effet de « vague » du matériel de l'expérience 1.

IV.2.B Performances de détection

Le tableau 3 présente les moyennes et écarts-types des taux de réussite et des temps de réponse selon la structure visuelle, 1x6-COL ou 2x3-COL, de la liste de mots.

TABLEAU 3

Moyennes (en gras) et écarts-types (en italique) des taux de réussite et des temps de réponse (en secondes) selon la structure visuelle, 1x6-COL ou 2x3-COL, de la liste de mots.

Means (in bold) and standard deviation (in italic) of success rates and response times (in seconds) according to the words lists layouts.

<< INSERER TABLEAU 3>>

Comme nous le supposions, une structure 2x3-COL engendre des temps de réponse plus courts qu'une structure 1x6-COL. Toutefois, la structure 2x3-COL engendre un taux de réussite significativement plus faible que la structure 1x6-COL (tableau 3).

Par ailleurs, au fil des 12 essais pour lesquels la cible est présente lors de la présentation de chacune des deux structures, nous n'observons pas d'évolution significative des performances aussi bien pour les taux de réussite ($F(11 ; 429)=1,17$; $p=.31$, ns) que pour les temps de réponse ($F(11 ; 429)=1,05$; $p=.4$, ns).

IV.2.C Performances de détection selon le mode de parcours oculaire

Pour mener cette analyse, nous avons sélectionné les essais pour lesquels un type de parcours a pu être observé.

On observe un parcours en colonne pour 186 observations relevant de la structure 1x6-COL et 162 pour la structure 2x3-COL. On observe un parcours en lignes pour 25 observations relevant de la structure 1x6-COL et 0 pour la structure 2x3-COL. On observe un parcours « autre » pour 41 observations relevant de la structure 1x6-COL et pour 22 observations relevant de la structure 2x3-COL. La répartition des types de parcours selon la structure est présentée dans le tableau 5.

TABLEAU 4

Pourcentages (P), moyennes (TRep), et écarts-types (ET) des temps de réponse (en secondes) selon la structure visuelle, le type de parcours oculaire et la réussite (R) ou l'échec (E), à la tâche de détection.

Percentage of observed ocular strategies (P), means (TRep) and standard deviation (ET) of response times (in seconds) according to the words lists layouts, the type of ocular inspection, correct responses (R) or errors (E), to the detection task.

<< INSERER TABLEAU 4 >>

Pour les segments oculaires identifiés, le tableau 4 montre que les tendances observées lorsque la détection est réussie sont équivalentes à celles qui ont été observées sur l'intégralité des protocoles : nous obtenons toujours une majorité d'explorations en colonnes quelle que soit la structure et la structure 1x6-COL présente une exploration en lignes dans des proportions non négligeables (8 %). La seule différence réside dans le pourcentage d'observations d'une exploration en lignes pour la structure 2x3-COL : il est nul sur cet ensemble de données alors qu'il était de 3 % sur la totalité des protocoles.

Lors d'une exploration en colonnes, la différence de temps de réponse entre les structures 1x6-COL (186 parcours oculaires) et 2x3-COL (162 observations) n'est pas significative ($F(1 ; 346)=0,66$; $p=.42$, ns).

Nous avons vu qu'il n'y a pas dans nos données d'exploration en lignes avec la structure 2x3-COL. Pour la structure 1x6-COL, une exploration en lignes, observée pour 25 parcours oculaires, engendre des temps de réponse significativement plus longs qu'une exploration en colonnes, observée pour 186 parcours oculaires ($F(1 ; 209)=7,99$; $p<.01$), mais aussi des temps de réponse significativement plus longs qu'une exploration en colonnes pour la structure 2x3-COL, observée auprès de 162 parcours oculaires ($F(1 ; 185)=7,06$; $p<.01$).

Par ailleurs, nous n'observons pas de différence significative des temps de réponse pour l'exploration « autre » entre les deux structures ($F(1 ; 61)=0,46$; $p=.5$, ns).

La réussite avec la structure 1x6-COL et la structure 2x3-COL est surtout associée à une exploration en colonnes. Comme on peut le remarquer dans le tableau 4, pour la structure 1x6-COL, sur les 69 % d'inspections oculaires en colonnes : 12 % mènent à l'échec. Sur les 13 % d'inspection en lignes : 38 % mènent à l'échec. Et sur les 18 % d'explorations « autre » : 22 % mènent à l'échec. Ainsi pour la structure 1x6-COL, une exploration en lignes conduit plus à l'échec qu'une exploration en colonnes. Pour la structure 2x3-COL, les taux d'échecs selon le mode d'exploration sont équivalents : sur les 88 % d'explorations en colonnes, 26 % conduisent à l'échec et sur les 12 % d'explorations « autre » 25 % mènent à l'échec.

Ainsi conformément à nos hypothèses, une exploration en lignes engendre bien un temps de réponse plus long qu'une exploration en colonnes quelle que soit la structure des colonnes. Cette différence de temps d'exploration permet d'expliquer les différences de temps de réponse observées entre les deux structures.

IV.3 DISCUSSION

En modifiant l'alignement des zones et l'espace entre deux zones successives, le taux d'exploration par continuité, colonne par colonne, passe de .54 (expérience 1, cf tableau 1) à .83 avec la structure 2x3-COL (expérience 2, exploration en colonnes verticales et horizontales dans le tableau 2). La structure COLONNES engendre majoritairement une exploration par continuité. On voit également qu'il est possible d'induire une exploration par ligne puisqu'elle varie de .03 avec la structure 2x3-COL à .23 avec la structure 1x6-COL (tableau 2). En réduisant l'espace inter-colonnes, nous pourrions certainement obtenir plus souvent ce type d'exploration.

Ainsi, conformément aux résultats de la littérature, une exploration en lignes engendre des temps de réponse plus longs qu'une exploration en colonnes. Avoir obtenu ce résultat sur une même structure, renforce sa validité. De ce fait, comme prédit, la structure 1x6-COL engendre un temps de réponse plus long qu'une structure 2x3-COL. En revanche, cette rapidité de réponse se traduit par un taux de réussite plus faible. Nous observons donc la mise en place de stratégies d'inspection (speed-accuracy trade off), montrant que les participants ont privilégié la rapidité de la réponse par rapport à sa précision, bien que la consigne insiste à la fois sur la précision de la réponse et la rapidité de la détection.

V DISCUSSION GENERALE ET CONCLUSION

Que nous apportent ces deux expériences sur l'effet de la structure de la scène visuelle sur la détection d'une cible ? Un premier fait expérimental est que la disposition spatiale des objets de l'environnement guide son exploration. Ainsi, la variation de la structure spatiale permet d'orienter le mode d'exploration dans lequel le participant s'engage lors de la détection d'une cible : nous obtenons par exemple une augmentation du type d'exploration par continuité qui passe de 40% (structure HYBRIDE1, expérience 1, tableau 1) à 83% (structure 2x3COL, expérience 2, tableau 2).

Il reste encore probablement des principes cognitifs à découvrir pour s'assurer du parcours oculaire lors d'une recherche visuelle. Toutefois, les résultats obtenus suggèrent déjà

que pour orienter le parcours oculaire, en termes de succession temporelle, plusieurs principes sont à respecter. Un premier principe est que l'agencement des items doit aboutir à une forme globale simple et régulière, respectant ainsi le principe de la bonne forme décrit par la théorie de la forme (Koffka, 1935). Un second principe est que cette structure doit permettre de distinguer aisément des zones à explorer à partir des groupements perceptifs, orientant l'exploration des mots contenus dans ces groupements. Enfin, un troisième principe est que la structure générée par la disposition spatiale doit faciliter le passage d'une zone à l'autre. Ces trois principes guident, selon nous, le regard du participant et rendent plus facile l'exploration de la scène visuelle. Dans nos deux expériences, les principes qui ont régi la distinction entre les parties de la scène et les transitions entre ces parties sont respectivement le principe de proximité et le principe de continuité. Dans ces deux expériences, menées pourtant sur un mode exploratoire, partant de ces principes, nous avons prédit les types de parcours selon la structure de présentation visuelle. Les résultats confortent ces prédictions et montrent que les principes d'organisation visuelle de la théorie de la forme que nous avons utilisés (proximité, similitude et continuité) sont de bons indicateurs du mode de parcours oculaire dans lequel les participants vont s'engager pour détecter une cible définie. La différence observée entre les explorations par continuité et par similitude sur les structures HYBRIDES suggère toutefois que les participants favorisent le principe de continuité pour la transition entre les zones d'intérêt.

L'un des buts de cette recherche était également de tenter de mettre en relation le mode d'exploration avec la détection, en supposant qu'une structure qui engendre une exploration qui lui convient facilitera son inspection. Avec l'expérience 2, nous retrouvons les résultats de Sperandio et Bouju (1983) : une exploration en colonnes est plus rapide qu'une exploration en lignes. Les résultats obtenus notamment par Backs, Walrath et Hancock (1987) et par Pearson et van Schaik (2003) qui préconisent une disposition verticale des items dans un menu sont aussi confortés. Toutefois, cette expérience ne permet pas, dans des conditions équivalentes, de comparer la rapidité d'exploration des structures COLONNES et les structures LIGNES. Cette comparaison nécessite la menée d'autres expériences. En effet, les structures retenues ici engendrent préférentiellement une exploration en colonnes et nous ne pouvons pas nous référer aux temps de réponse de la première expérience puisque la structure COLONNES, qui ne répondait pas au principe de bonne forme, n'a pas facilité la mise en place d'une exploration en colonnes.

Nous notons aussi que les parcours « autre » qui mènent à la réussite sont les plus courts. Ils mériteraient une analyse spécifique pour voir si certains de ces parcours relèvent d'autres principes perceptifs.

Soulignons que dans nos expériences, l'effet des variations de structures spatiales sur le type d'exploration, - et dans une moindre mesure sur les temps de réponse (une différence de 200 ms dans l'expérience 2 qui est due principalement au type d'exploration) -, est observé lors de la recherche d'une cible bien définie. Dans la mesure où Norman et Chin (1988) ont observé un effet de la structure (hiérarchique) avec une cible mal définie, mais pas avec une cible bien définie, nous pouvons supposer que les différences observées entre les structures seront accentuées avec une cible mal définie. Ceci paraît d'autant plus vraisemblable que la détection d'une cible bien définie est plus facile que la détection d'une cible mal définie, sauf lorsque la structure hiérarchique est optimale pour la recherche de la cible (Norman & Chin, 1988). Il pourrait également être intéressant de voir si l'efficacité d'une disposition spatiale particulière pour la recherche dépend du niveau hiérarchique de la page. Norman et Chin (1988) ont observé que le nombre de liens dans une page avait un effet sur la recherche et que cet effet différait selon le niveau hiérarchique : mieux vaut un nombre de liens élevé dans les niveaux extrêmes (premier et dernier niveau) que dans les niveaux intermédiaires. On pourrait également envisager que l'efficacité de la recherche puisse dépendre du type de disposition spatiale qu'on attribue au contenu des pages des niveaux extrêmes et à celui des pages des niveaux intermédiaires.

Pour conclure, cette étude a montré que l'inspection d'une scène visuelle relève des principes d'organisation visuelle tels qu'ils ont pu être décrits par la théorie de la forme. Ces principes peuvent servir de base pour des recommandations lors de la conception de pages Web, puisque celles-ci contiennent le plus souvent plusieurs listes de mots. La recherche d'une information (par exemple les films joués cette semaine dans les cinémas du quartier) en utilisant les moyens offerts par les sites Internet, est souvent guidée par le but de trouver l'information recherchée le plus rapidement possible. Organiser spatialement le contenu des pages des sites selon les principes de la théorie de la forme orienterait le regard de l'utilisateur et faciliterait sa prise d'information en lui permettant de trouver efficacement et rapidement ce qu'il cherche. Nos résultats expérimentaux, mais aussi celles de Colombi et Baccino (2003), Sperandio et Bouju (1983) et Ojanpää et al. (2002), pourraient être utilisés pour des recommandations de conception de pages web, sachant qu'une disposition des mots en colonnes facilite la détection de la cible. Toutefois, cette recommandation sur la mise en colonnes de l'information serait à suivre avec précaution. En effet, Dyson (2004) rapporte des études qui montrent que la lecture à l'écran est facilitée lorsque le texte est présenté sur une seule colonne dont les lignes sont de 80 caractères, contrairement à une présentation du même texte sur trois colonnes de 25 caractères par ligne (Dyson & Kippling, 1997, cité par Dyson,

2004). Ce qui différencie notre étude (et les autres citées précédemment) de celle de Dyson et Kippling, est le contenu de la ligne. Dans l'étude rapportée par Dyson (2004) une phrase se trouve être fragmentée sur plusieurs lignes si bien que lorsqu'il y a plusieurs colonnes et un nombre restreint de caractères par ligne, le parcours de plusieurs lignes est nécessaire pour construire l'unité de la phrase. Ceci permet d'expliquer pourquoi la mise en colonne d'un texte ne facilite pas forcément dans ce cas une lecture rapide. Dans notre étude, chaque ligne de chaque colonne comprend l'intégralité de l'information.

Enfin, nous n'avons utilisé dans cette étude que trois principes (proximité, continuité et similitude) comme prédicteurs du guidage oculaire dans la scène visuelle. Chacun de ses principes détermine un guidage particulier : la distinction des zones et la transition entre les zones. Notre travail n'est probablement pas exhaustif : il pourrait être envisageable, par exemple, de tester d'autres principes d'organisation visuelle, par exemple le principe de similitude sur la distinction entre les zones ou encore le principe de bonne fermeture pour la transition d'une zone à l'autre.

BIBLIOGRAPHIE

Backs, R.W., Walrath, L.C., & Hancock, G.A. (1987). Comparison of horizontal and vertical menu formats. *Proceedings of the 31st Annual Meeting of the Human Factors Society,* (pp. 715-717), Santa Monica, CA: Human Factors Society.

Colombi, T., & Baccino, T. (2003). Le rôle de la mise en page et de la structure syntaxique dans la sélection des liens hypertextuels. *Le Travail Humain, 66*, 45-64.

Content, A., Mousty, P., & Radeau, M. (1990). Brulex, une base de données lexicales informatisée pour le français écrit et parlé. *L'Année Psychologique, 90,* 551-566.

Dyson, M.C. (2004). How physical text layout affects reading from screen. *Behaviour & Information Technology, 23*, 377-393.

Jacobs, A.M., & Lévy-Schoen, A. (1987). Le contrôle des mouvements des yeux dans la lecture : Questions actuelles. *L'Année Psychologique, 87*, 55-72.

Koffka, K. (1935). *Principles of Gestalt Psychology*. London: Lund Humphries.

Ling, J., & van Schaik, P. (2004). The effects of link format and screen location on visual search of web pages. *Ergonomics, 47,* 907-921.

Norman, K.L, & Chin, J.P. (1988). The effect or tree structures on search in a hierarchical menu selection system. *Behaviour & Information Technology, 7,* 51-65

Ojanpää, H. , Näsänen, R., & Kojo, I. (2002). Eye movements in the visual search of word lists. *Vision Research, 42*, 1499-1512.

Pearson, R.S., & van Schaik, P. (2003). The effect of spatial layout of and link colour in web pages on performance in a visual search task and an interactive search task. *International Journal of Human Computer, 59,* 327-353.

Scott, D., & Findlay, J.M. (1990). The shape of VDU's to come: a visual search. In Lovesey, E.J. (Ed.), *Contemporary Ergonomics, (*pp. 353-358). London: Taylor and Francis

Snowberry, K., Parkinson, S., & Sisson, N. (1983). Computer displays menus. *Ergonomics, 26*, 699-712.

Sperandio, J-C., & Bouju, F. (1983). L'exploration visuelle de données numériques présentées sur écran cathodique. *Le travail Humain, 46*, 49-63.

Treisman, A., & Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology, 12*, 97-136.

Wertheimer, M. (1938). Laws of Organization in Perceptual Forms. In Ellis, W. (Ed.). *A source book of Gestalt psychology* (pp. 71-88). London: Routledge & Kegan Paul. (http://psychclassics.yorku.ca/Wertheimer/Forms/forms.htm).

Zaphiris, P. (2000). Depth vs breadth in the arrangement of web links. *Proceedings of the 44th Annual Meeting of Human Factors and Ergonomics Society* [Cdrom], (pp. 139-144), San Diego, CA, USA.

Résumé

Bien que la détection d'un mot parmi d'autres soit une des tâches courantes de la vie quotidienne, par exemple lors de recherches sur l'Internet, et que la littérature sur les facteurs perceptifs qui favorisent ou perturbent la détection d'une cible soit importante, il y a peu d'études sur les effets de la disposition spatiale de mots sur leur détection. Nous rapportons les résultats de deux expériences qui montrent comment l'exploration oculaire est guidée par l'organisation spatiale et que les principes de la théorie de la forme, que sont les principes de similitude, de proximité et de continuité, sont de bons indicateurs des parcours oculaires dans lesquels les participants s'engagent pour détecter un mot dans une liste de mots. Nous observons également que les performances de détection dépendent du mode d'exploration : une exploration en colonnes de mots disposés en colonnes permet de détecter plus rapidement la cible qu'une exploration en lignes. Les principaux résultats sont discutés au regard des bases empiriques qui peuvent servir la recommandation ergonomique des interfaces de type Web.

Mots clés : organisation visuelle, principes gestaltistes, détection de mots, mouvements oculaires, interface Web.

Figure 1

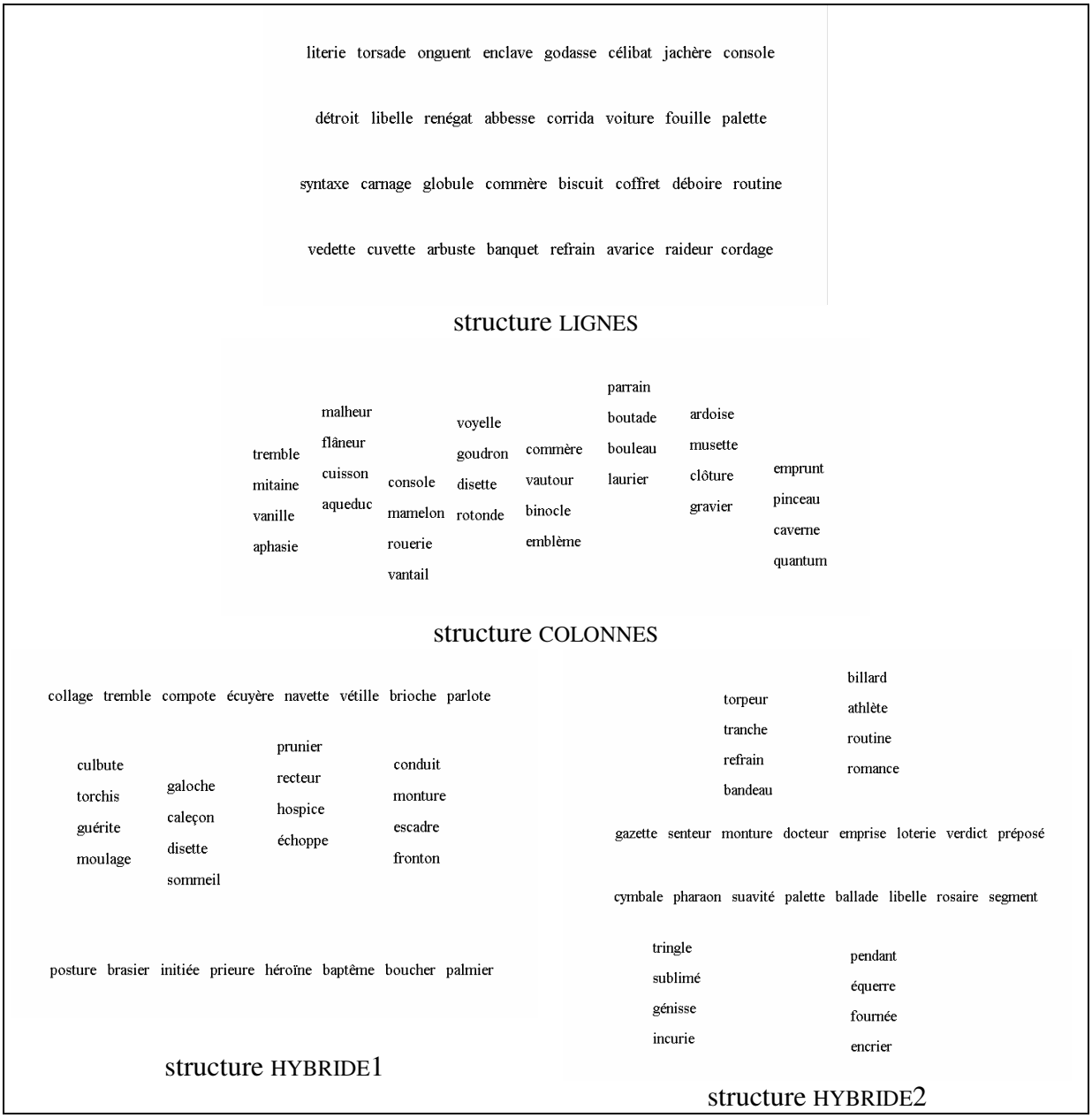

literie torsade onguent enclave godasse célibat jachère console
détroit libelle renégat abbesse corrida voiture fouille palette
syntaxe carnage globule commère biscuit coffret déboire routine
vedette cuvette arbuste banquet refrain avarice raideur cordage
structure LIGNES
tremble mitaine vanille aphasie
malheur flâneur cuisson aqueduc
console mamelon rouerie vantail
voyelle goudron disette rotonde
commère vautour binocle emblème
parrain boutade bouleau laurier
ardoise musette clôture gravier
emprunt pinceau caverne quantum
structure COLONNES
collage tremble compote écuyère navette vétille brioche parlote
culbute torchis guérite moulage
galoche caleçon disette sommeil
prunier recteur hospice échoppe
conduit monture escadre fronton
posture brasier initiée prieure héroïne baptême boucher palmier
structure HYBRIDE1
billard athlète routine romance
torpeur tranche refrain bandeau
gazette senteur monture docteur emprise loterie verdict préposé
cymbale pharaon suavité palette ballade libelle rosaire segment
tringle sublimé génisse incurie
pendant équerre fournée encrier
structure HYBRIDE2

Figure 2

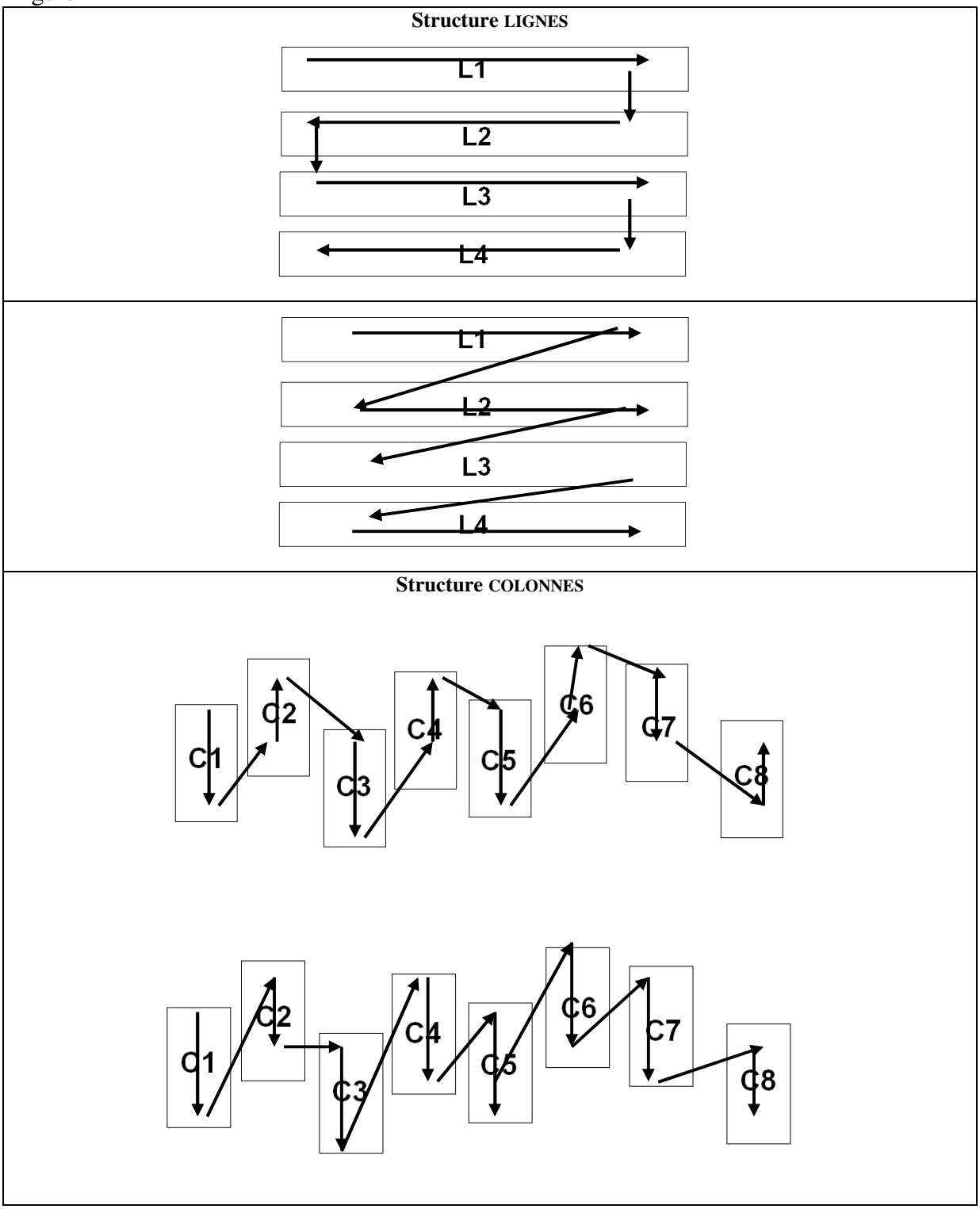

Structure LIGNES
L1
L2
L3
L4
L1
L2
L3
L4
Structure COLONNES
C1
C2
C3
C4
C5
C6
C7
C8
C1
C2
C3
C4
C5
C6
C7
C8

Figure 3

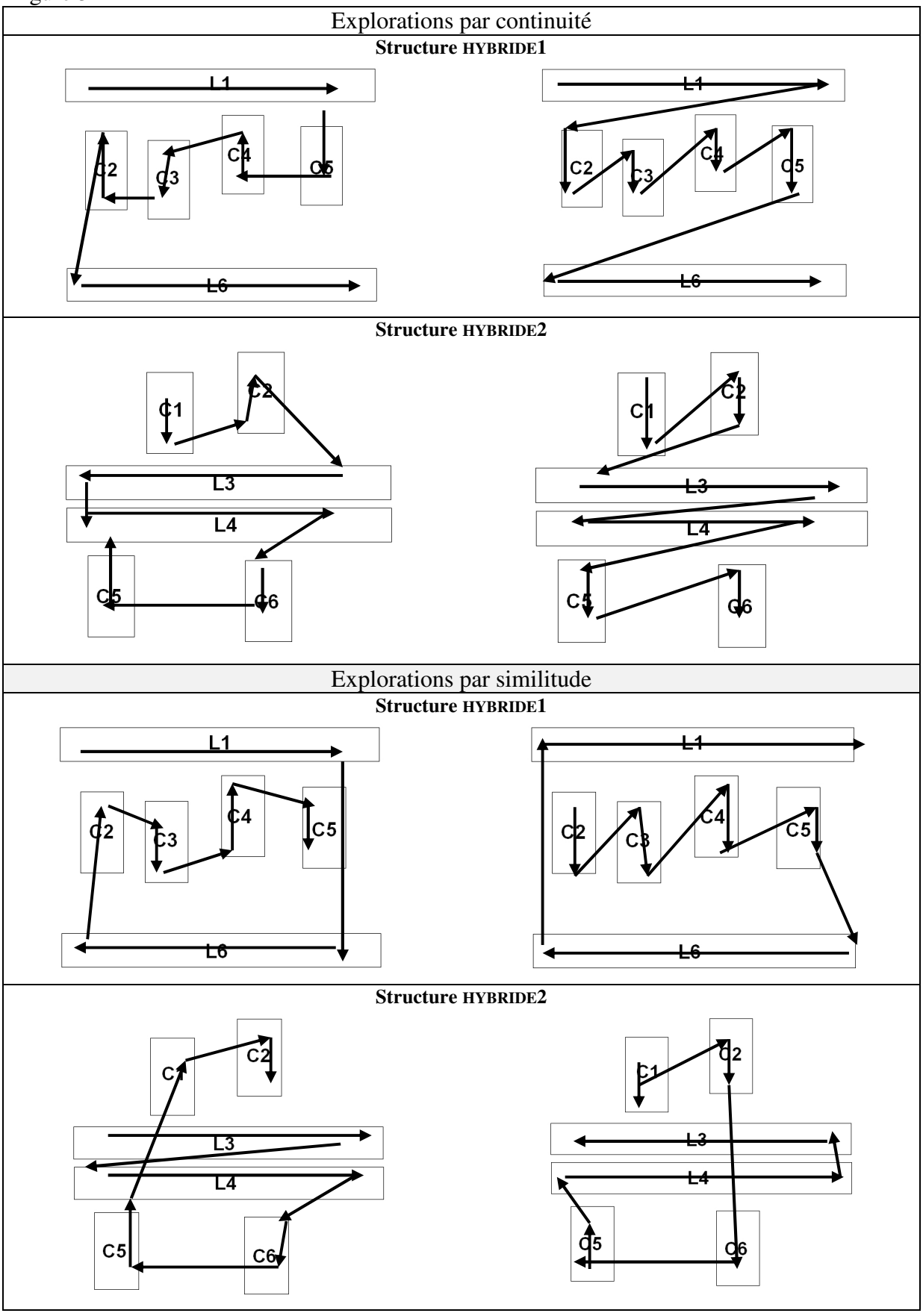

Explorations par continuité
Structure HYBRIDE1
L1
C2
C3
C4
C5
L6
L1
C2
C3
C4
C5
L6
Structure HYBRIDE2
C1
C2
L3
L4
C5
C6
C1
C2
L3
L4
C5
C6
Explorations par similitude
Structure HYBRIDE1
L1
C2
C3
C4
C5
L6
L1
C2
C3
C4
C5
L6
Structure HYBRIDE2
C1
C2
L3
L4
C5
C6
C1
C2
L3
L4
C5
C6

Figure 4

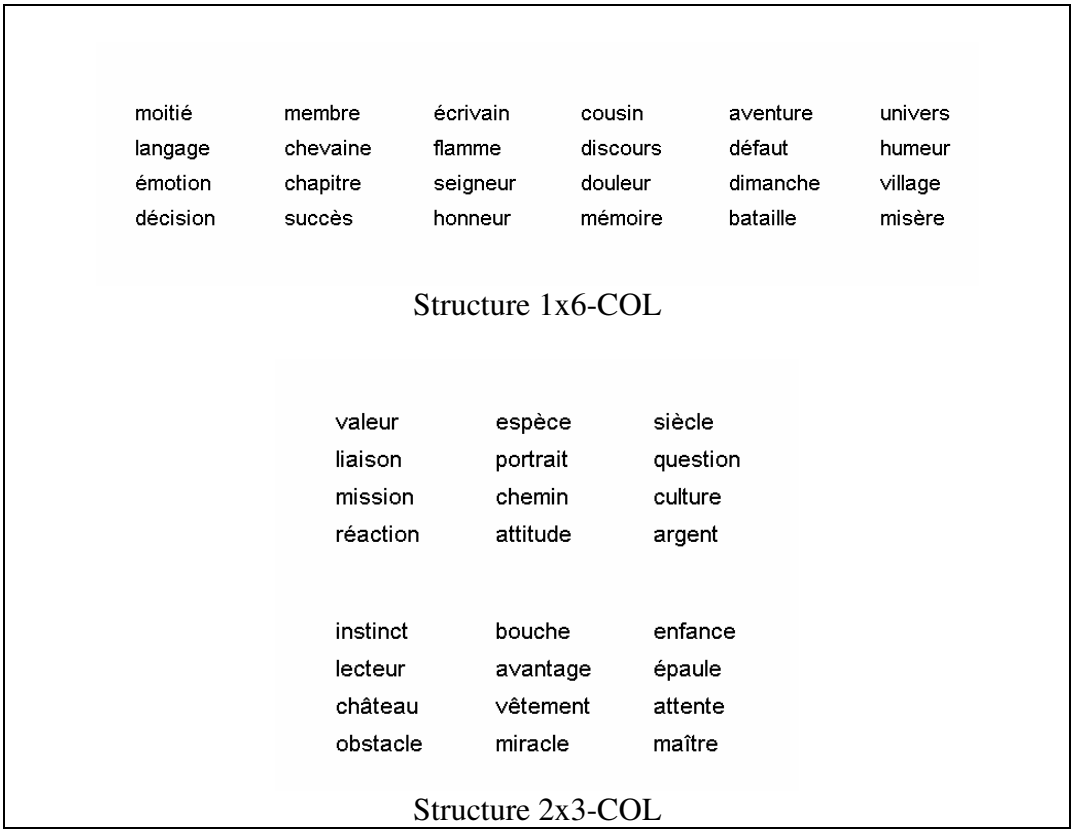
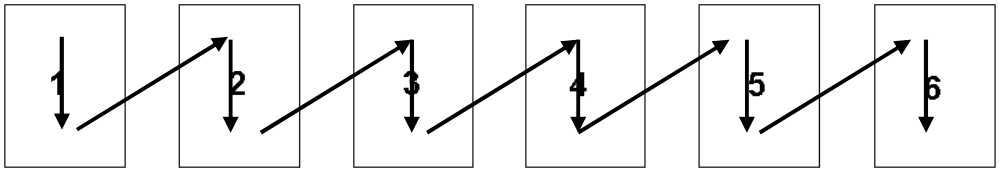
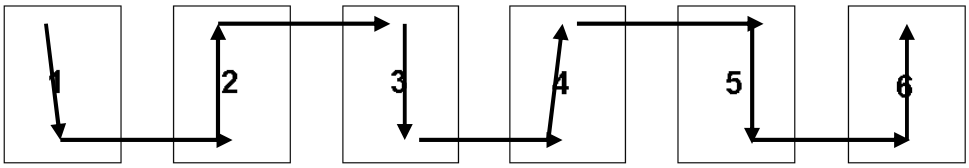

moitié membre écrivain cousin aventure univers
langage chevaine flamme discours défaut humeur
émotion chapitre seigneur douleur dimanche village
décision succès honneur mémoire bataille misère
Structure 1x6-COL
valeur espèce siècle
liaison portrait question
mission chemin culture
réaction attitude argent
instinct bouche enfance
lecteur avantage épaule
château vêtement attente
obstacle miracle maître
Structure 2x3-COL

Figure 5

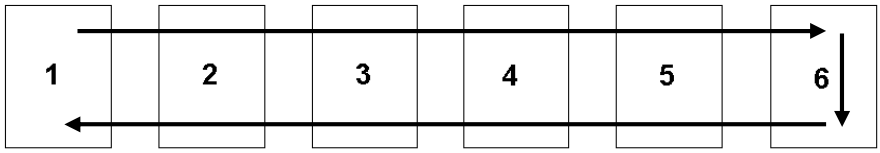
Structure 1x6-COL

Explorations en colonnes





Explorations en lignes



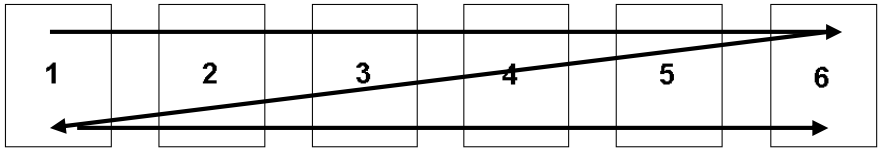


Figure 6

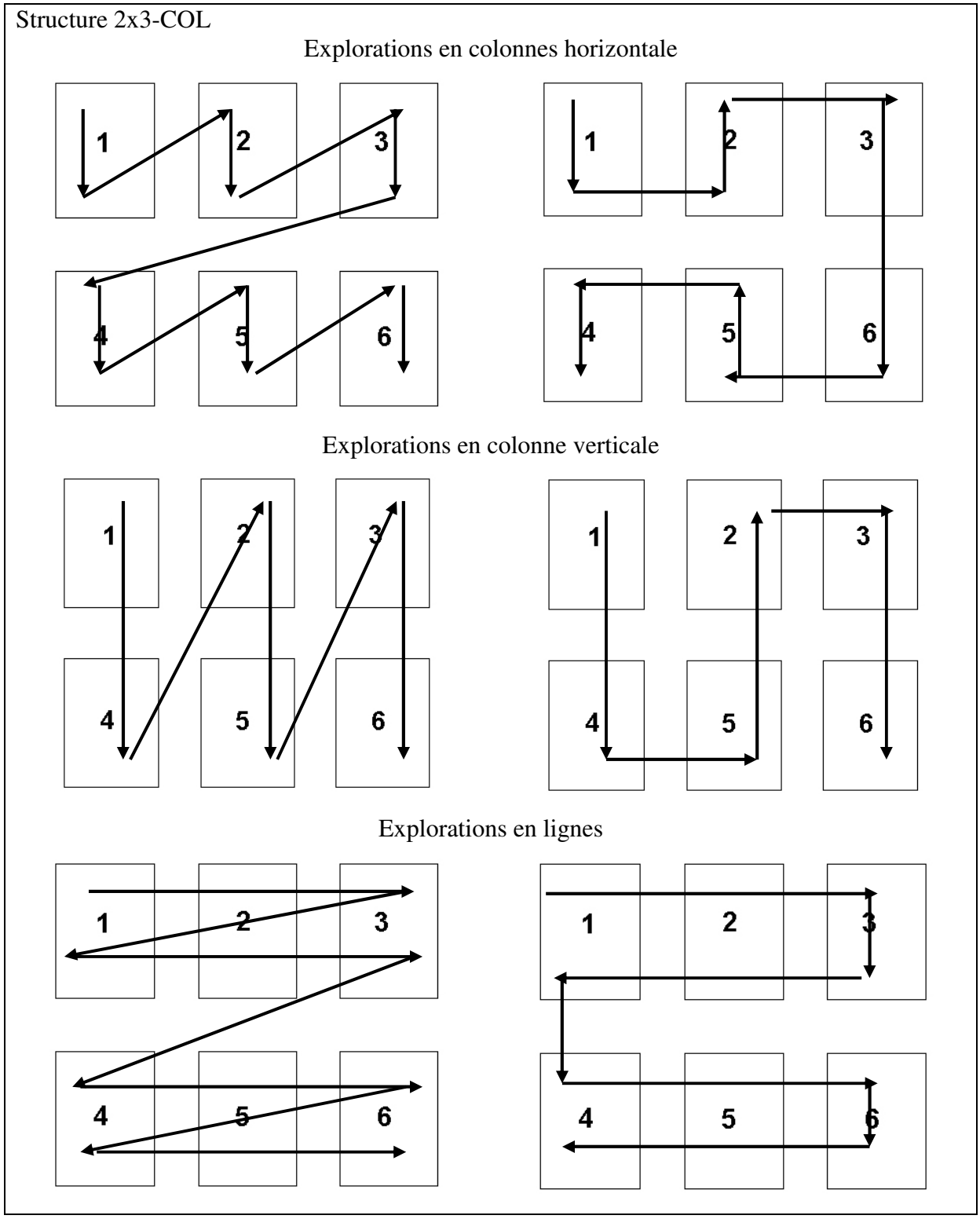

Structure 2x3-COL
Explorations en colonnes horizontale
1
2
3
4
5
6
1
2
3
4
5
6
Explorations en colonne verticale
1
2
3
4
5
6
1
2
3
4
5
6
Explorations en lignes
1
2
3
4
5
6
1
2
3
4
5
6

TABLEAU 1

	Structure des listes de mots			
Exploration oculaire	COLONNES (*N=420*)	LIGNES (*N=398*)	HYBRIDE1 (*N=383*)	HYBRIDE2 (*N=414*)
– Continuité	.54	.63	.40	.65
– Similitude	---	---	.39	.19
– Autres	.46	.37	.21	.16
Valeur du F et p associé				
– Sujets : source de variation	F(1; 39)=0,40 ; *p=.53, ns*	F(1; 39)=6,22 ; *p=.02*	F(2 ; 78)=4,2 ; *p=.02*	F(2 ;78)=27,09 ; *p<.01*
– Essais : source de variation	F(1;11)=2,3 ; *p=.16, ns*	F(1;11)=16,97 ; *p<.01*	F(2 ;22)=19,37 *;* *p<.01*	F(2 ; 22)=163,02 ; p<.01

TABLEAU 2

	Structure des listes de mots	
Exploration oculaire	1x6-COL *(N=777)*	2x3-COL *(N=722)*
– Continuité horizontale Colonnes	.56	.55
– Continuité verticale Colonnes	---	.28
– Continuité Lignes	.23	.03
– Autres	.21	.14
Valeur du F et p associée		
– Sujets : source de variation	F(2 ;78)=18,04 ; *p<.01*	F(3;117)=23,53 ; *p<.01*
– Essais : source de variation	F(2;46)=123,3 ; *p<.01*	F(3; 69)=199,5 *; p<.01*

TABLEAU 3

	Structure des listes de mots			
	1 x 6-COL		2 x 3-COL	
Taux de réussite	**.91**	*.09*	**.86**	*.11*
	F(1 ; 39)=5,69 *; p=.02*			
Temps de réponse (en secondes)	**2,7**	*.41*	**2,5**	*.40*
	F(1 ; 39)=5,83 ; *p=.02*			

TABLEAU 4

		Type d'exploration								
		En colonnes			En lignes			Autres		
		P	**TRep**	*ET*	***P***	**TRep**	*ET*	***P***	TRep	*ET*
1x6col	R	***61%***	3,45	*1,12*	***8%***	4,12	*0,99*	***14%***	3,35	*1,28*
N=777	E	***8%***	3,76	*0,85*	***5%***	4,34	*1,25*	***4%***	4,66	*1,51*
2x3col	R	***65%***	3,51	*0,92*	***0%***	--	--	***9%***	3,12	*1,16*
N=722	E	***23%***	4,25	*0,91*	***0%***	--	--	***3%***	3,58	*1,1*