
L'analyse des mouvements des yeux sur le web

Thierry Baccino & Teresa Colombi

*Laboratoire de Psychologie Expérimentale et Quantitative
Université de Nice Sophia-Antipolis
24, Av Des Diables Bleus, 06000, NICE
Email : baccino@unice.fr*


RESUME : Ce chapitre présente la technique d'enregistrement oculométrique appliquée à l'étude de l'utilisabilité des sites web. Avec l'apparition de nouveaux appareils à la fois plus simples à utiliser et plus précis, cette technique fournit au psychologue cognitif mais également à tous les acteurs de l'utilisabilité [ergonomes, webmasters, designers..] un pistage en temps réel de l'activité cognitive des utilisateurs. Nous définissons les mesures spécifiques oculométriques et les champs d'intervention possibles sur le web, en particulier pour évaluer la prise d'information, l'attention visuelle et les traitements cognitifs impliqués lors de la recherche d'informations.

ABSTRACT : The section describes the eye tracking methodology used for evaluating the web usability. With the coming of new eye trackers both easier to use and more reliable, the methodology provides to the cognitive psychologist and also to the multiple usability actors [human factor, webmaster, designers,..] a real-time cognitive tracking of users. We define the specific oculometric measures and the intervening fields on the web, mostly for evaluating the perception, the visual attention and the corresponding cognitive processing involved during the information retrieval.

MOTS-CLES : mouvements oculaires, utilisabilité, recherche d'information, web, hypermédia, interface-utilisateur, ergonomie, lecture, cognition.

KEY WORDS : Eye movements, usability, information retrieval, web, hypermedia, User-Interface, Human Factors, reading, cognition.

Baccino, T. & Colombi, T. (2000). L'analyse des mouvements des yeux sur le Web, *Revue d'Intelligence Artificielle*, 14(1-2), 127-148.



Introduction

La technique d'enregistrement des mouvements des yeux est déjà ancienne en psychologie [HUE 00,08] mais c'est surtout à partir d'une vingtaine d'années qu'elle a été largement développée et utilisée pour rendre compte des traitements cognitifs [RAY 98]. Un aspect fondamental de ce couplage cognitif/oculomoteur est illustré par les travaux de Yarbus [YAR 67] qui montrent une modification des mouvements des yeux en fonction des instructions données aux sujets pour réaliser une tâche d'inspection visuelle. Durant ces vingt dernières années, ce sont en particulier les travaux sur la lecture qui ont permis de préciser toute l'étendue des indicateurs cognitifs pertinents extraits grâce à cette technique par le fait d'avancées technologiques marquantes (couplage des systèmes oculométriques et des ordinateurs) et de développements théoriques sur le langage. Des paradigmes de présentation originaux (technique de la fenêtre mobile, présentation contingente¹) ont même été inventés qui contrôlent précisément la quantité d'informations dispensées au lecteur. La plupart des questions testées concerne la nature des mécanismes et des représentations cognitives qui guident le regard dans la lecture. Si l'on restreint l'analyse des mouvements des yeux aux séquences de fixations (pauses) et de saccades (sauts rapides d'une fixation à l'autre), les principales caractéristiques oculaires sont résumées dans le tableau 1.

Tâche	Durée Moy. Fixation (ms)	Taille Moy. Saccade (degré d'angle visuel)
Lecture silencieuse	225	2° (environ 8 car.)
Lecture orale	275	1,5° (environ 6 car.)
Recherche visuelle	275	3°
Inspection de scènes visuelles	330	4°
Lecture de partitions	375	1°

Tableau 1. *Résumé des principales caractéristiques oculaires (fixations, saccades) en fonction du type de tâches [D'après RAY 98].*

Plus récemment, l'analyse des mouvements des yeux a servi à examiner d'autres tâches cognitives comme l'inspection de scènes visuelles [HEN 98], la télévision [DYD 89], la résolution de problèmes arithmétiques [HEG 92] et la lecture de partitions musicales [SER 99].

¹ Présentation d'informations subordonnée aux positions du regard.

Dans le champ de l'ergonomie cognitive, l'enregistrement oculométrique est également connu depuis longtemps bien que les premiers systèmes étaient très contraignants. Il a été employé pour évaluer le comportement des conducteurs [CHA 98] ou des pilotes aéronautiques [SVE 97], pour connaître les stratégies d'inspection de tableaux numériques [SPE 83] ou pour estimer le marketing publicitaire [LOH 93]. Avec le développement des Technologies de l'Information et de la Communication (Web, CDROM,...) et le besoin croissant d'évaluation des Interfaces Homme/Ordinateur (IH/O), l'analyse des mouvements des yeux fournit un ensemble de mesures objectives et relativement directes des processus cognitifs engagés lors de la recherche d'informations sur le web ou la compréhension d'un document. La technique permet de connaître les déplacements du regard et/ou de l'attention de l'utilisateur et de tracer le déroulement temporel des opérations cognitives. Ce chapitre décrit les caractéristiques de la méthode oculométrique en précisant les principaux observables recueillis pour permettre des inférences sur le fonctionnement cognitif des utilisateurs et montrer la validité de la méthode pour évaluer l'*utilisabilité* des IH/O. Il essaie également de souligner les principales voies de recherche qui restent à explorer à l'aide de cette technique afin d'aboutir à **un outil de pistage cognitif** qui soit un reflet fidèle du comportement de l'utilisateur du web.

Intérêt de l'analyse des mouvements des yeux dans l'évaluation des IH/O.

Le développement de l'interface d'un logiciel ou d'un site Internet nécessite de fréquents ajustements à opérer entre les fonctionnalités du système informatique et les capacités des utilisateurs et ces ajustements sont réalisés par le biais d'une évaluation ergonomique. La notion d'évaluation est centrale dans les travaux portant sur l'*utilisabilité* d'un système dont l'objectif est d'adapter l'interface aux capacités cognitives des utilisateurs. Cette évaluation dépend du moment d'intervention sur l'interface (pendant et/ou après la phase de conception) mais également de contraintes matérielles (durée de l'évaluation, crédit et équipement disponible,...), méthodologiques (analyse qualitative et/ou quantitative) ou théoriques pour interpréter les préférences ou les performances de l'utilisateur [DIX 98]. D'ordinaire, les techniques d'évaluation utilisées au début du processus de développement privilégient une approche analytique telle que le cheminement cognitif² [POL 92], l'évaluation heuristique³ [NIE 94] ou appliquent des

² Traduction de l'expression anglaise *Cognitive walkthrough* : le concepteur décrit verbalement la séquence des actions que l'utilisateur devra entreprendre pour accomplir une tâche à partir de l'interface.

³ L'évaluation heuristique consiste à faire juger une interface par plusieurs évaluateurs indépendants en leur fournissant au préalable une liste de règles (heuristiques) qui doivent guider leur évaluation.

connaissances et des modèles de l'utilisateur déjà connus. Ce type d'évaluation est particulièrement usité pour estimer les préférences de l'utilisateur ou le confort d'utilisation d'une interface. Toutefois, bien qu'elles soient faciles à mettre en place, le problème principal de ces techniques réside dans la subjectivité de l'évaluation qui restreint largement la validité psychologique des résultats et leur généralisation à d'autres interfaces. A un stade plus avancé du développement de l'interface, des entretiens, des questionnaires ou des protocoles expérimentaux peuvent être utilisés qui testent davantage les performances des utilisateurs (taux d'erreurs, temps de réalisation) pour réaliser une tâche donnée. En outre, le choix d'une technique d'évaluation dépend de l'enjeu économique du produit pour l'entreprise mais également de la profondeur des traitements que l'ergonome désire effectuer. On n'évalue pas de la même façon l'ergonomie d'une interface gérant le contrôle d'une centrale nucléaire et l'interface d'une télécommande de télévision. Dans le premier cas, l'étude de l'interface sera davantage fondée sur des techniques expérimentales testant systématiquement les effets de facteurs intervenant dans la prise d'information ou les processus de décision alors que dans le second cas une passation de questionnaires pourrait s'avérer suffisante. L'avantage essentiel de l'évaluation par des techniques expérimentales est de disposer de mesures objectives qui permettent une interprétation fiable des processus cognitifs sous-jacents à un comportement de l'utilisateur [voir BIS 99 pour des techniques évaluant les activités expertes]. Grâce au développement de systèmes oculométriques moins contraignants, plus simples à utiliser et en même temps plus précis, l'enregistrement des mouvements des yeux est considéré à l'heure actuelle comme une technique expérimentale prometteuse pour fournir des indicateurs pertinents sur l'*utilisabilité* des interfaces. La technique permet de pister en temps réel la qualité de la prise d'information, les déplacements attentionnels, les difficultés et les stratégies cognitives de l'utilisateur. Néanmoins, elle nécessite un protocole expérimental suffisamment strict pour que l'ergonome puisse être capable d'inférer le fonctionnement cognitif à partir de la mise en correspondance du contenu du matériel inspecté visuellement et les traces enregistrées de l'activité oculaire.

Technologie « transparente » et instruments « transparents »

Un concept désormais répandu en ergonomie est que l'*utilisabilité* d'un objet (ou d'une interface) ne consiste pas à extraire des attributs abstraits ou des « traits » que cet objet pourrait posséder mais plutôt qu'elle relève d'une compatibilité cognitive entre l'utilisateur et cet objet dans un contexte spécifique. D'où l'idée proposée par Weiser [WEI 91] de « technologies transparentes » dans le sens où l'objet optimisé ne doit impliquer pour l'utilisateur aucune contrainte spécifique, physique ou psychologique, et être en quelque sorte sa « paire de lunettes ». Une telle technologie permet à l'utilisateur de concentrer son attention sur l'objectif à atteindre et non plus sur les modalités d'utilisation de l'objet ou de réalisation de ce

but. Afin d'obtenir un niveau de transparence même dans le cas d'objets complexes comme les sites Web, il est nécessaire de pister le développement du produit à partir des premières phases de réalisation jusqu'à son évaluation finale (par exemple en évaluant les procédures de navigation au fur et à mesure des phases de développement du site Web). Il est clair que des moyens de mesure indirects, souvent fastidieux et contraignants, parasitent les données recueillies pour analyser l'activité de l'utilisateur, parasitage qui est d'autant plus important que l'objet est complexe et nécessite de décomposer les principaux facteurs qui affectent son utilisation. C'est la raison pour laquelle les nouvelles techniques d'enregistrement des mouvements des yeux (système *Eyegaze* décrit plus bas) qui sont précises et non invasives, apportent un réel progrès dans l'évaluation ergonomique car le sujet navigue sur le site sans prêter attention au fait que son comportement exploratoire (parcours oculaire, parcours souris, touches clavier) est enregistré en temps réel. Elles permettent donc une analyse comportementale précise tout en respectant les situations réelles d'utilisation⁴.

Description de la technique d'enregistrement des mouvements des yeux

Il existe à l'heure actuelle trois techniques d'enregistrement des mouvements des yeux qui divergent selon le procédé d'enregistrement et par conséquent la précision des mesures et les contraintes assumées par les utilisateurs [pour une revue plus complète sur les méthodes d'enregistrement voir YOU 75; COL 99].

- **La technique électro-oculographique [EOG]** : L'EOG est une technique ancienne établie par Fenn & Hursh [FEN 34] qui permet de mesurer les différences de potentiels électriques induits par la rotation des yeux. Ces potentiels électriques sont captés par des électrodes placées autour des yeux. Bien que la mesure ait une résolution temporelle correcte, elle permet difficilement de connaître la position réelle du regard et donc de peu d'utilité dans l'étude des IH/O.
- **La technique galvanométrique [*Scleral search-coil technique*]** : Le principe est de créer un champ magnétique et de repérer à l'intérieur de ce champ les variations d'un signal électrique traversant une lentille spéciale posée sur l'œil du sujet. Le sujet est placé à l'intérieur d'un champ magnétique créé par trois bobines disposées horizontalement, verticalement ou latéralement. La position du regard est donc repérée sur ces trois dimensions. La technique est très précise

⁴ En fait, elles maximisent le fameux rapport validité Interne/Externe tant recherché dans les plans expérimentaux consistant à mettre en place la mesure la plus précise possible [validité interne] pour analyser des situations qui respectent des conditions réelles d'utilisation [validité externe] et non pas générer des interprétations provoquées par des situations artificielles de laboratoire.

mais également très contraignante (un ophtalmologiste doit être présent à chaque passation) ce qui limite sévèrement son utilisation à des fins psychologiques ou ergonomiques pour évaluer des interfaces.

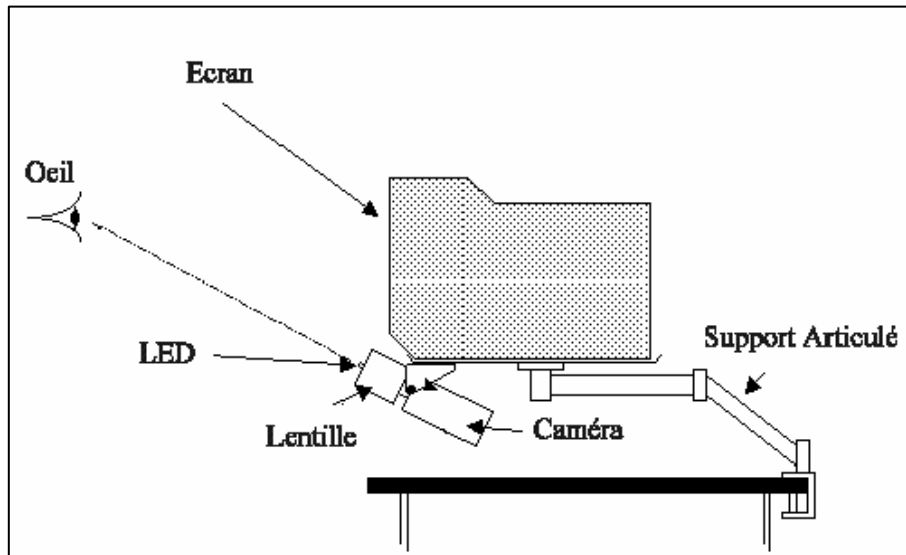


Figure 1. Dispositif technique du système oculométrique EyeGaze avec caméra vidéo (LC Technology : Fairfax).

- **La technique du reflet cornéen :** Le principe consiste à envoyer au centre de la pupille une lumière infrarouge émise par une diode ou un ensemble de diodes. Le reflet infrarouge renvoyé par la cornée de l'œil est ensuite détecté et ce sont les variations d'intensité de ce reflet qui permettent, après calcul, de repérer le centre de la pupille et de connaître la position de l'œil. Il existe de nombreux systèmes fondés sur ce principe qui utilisent soit un détecteur optique pour capter le reflet infrarouge, soit une caméra vidéo qui filme l'œil. Le système EyeGaze (LC Technology : Fairfax) spécialement adapté aux travaux sur *l'utilisabilité* des IH/O et que nous développons à l'Université de Nice fonctionne avec une caméra qui échantillonne à 60Hz la position du regard de l'utilisateur⁵ (voir figure 1). La technique se prête facilement à des tests ergonomiques car il n'y a aucune contrainte physiologique du sujet (tête libre),

⁵ Sur ce système, la lumière infrarouge illuminant l'œil amplifie la brillance de la pupille ce qui facilite son repérage par la caméra. Après traitement informatique de l'image vidéo, le système est capable de repérer directement le centre de la pupille. A chaque mouvement des yeux, l'ordinateur calcule alors la position du regard en mettant en correspondance la position calculée du centre de la pupille et l'image vidéo enregistrée.

la caméra est placée sous l'écran et seulement une courte phase de calibrage⁶ est requise. De plus, le système enregistre le diamètre pupillaire qui peut servir d'indicateur pour estimer la charge mentale induit par un écran [BAC 92] ou le stress visuel [JAS 96]. La technique du reflet cornéen enregistré par une caméra vidéo est celle qui est la plus utilisée dans les études ergonomiques car elle fournit des données suffisamment précises pour des contraintes expérimentales réduites.

Principaux observables oculométriques pour l'évaluation du Web.

Sur une caméra fonctionnant à 60Hz, l'enregistrement des mouvements des yeux a lieu environ toutes les 17 ms ce qui constitue un énorme flot de données pour une tâche d'inspection de documents électroniques qui peut durer plusieurs minutes. Extraire des indicateurs cognitifs plausibles de ce flot de données, consiste d'abord à réduire les données échantillonnées à une séquence de saccades et fixations qui sont ensuite analysées par rapport à la page entière ou à des zones particulières du matériel inspecté (zones d'intérêt). La détection des saccades et des fixations, comportement généralement observé lors de l'inspection visuelle et de la lecture, permet globalement de quantifier la prise d'information de l'utilisateur et d'inférer les processus cognitifs sous-jacents. Il est possible ainsi de repérer les zones du document les plus fréquemment explorées, les durées de traitement, les difficultés rencontrées et les éventuelles réinspections témoignant d'un contrôle ou d'un besoin d'information supplémentaire. Il est également possible de retracer la séquence de fixations successives indiquant l'ordre logique des opérations mentales effectuées et leur cohérence. Il faut néanmoins insister sur le fait qu'un enregistrement des mouvements des yeux n'a de valeur heuristique que si l'expérimentateur est capable d'interpréter les différentes traces oculaires *compte tenu* du matériel effectivement présenté à l'utilisateur ce qui nécessite un contrôle rigoureux des conditions de présentation du document (taille des fenêtres, couleur, scrolling, et différents aspects visuels) et de son contenu (familiarité, contenu sémantique, cohérence).

Dans une série de travaux, Goldberg et coll. [GOL 95; GOL 98] ont identifié un ensemble d'indicateurs oculaires qui peuvent servir à l'évaluation de l'utilisabilité du Web. Ils distinguent les indicateurs reflétant les processus de recherche d'information des indicateurs qui rendent compte du traitement de l'information, les premiers étant surtout des traces spatiales du déplacement du regard alors que les seconds dénotent des durées de traitement (voir tableau 2).

⁶ Le calibrage est effectué avant tout enregistrement et il consiste à demander à l'utilisateur de fixer successivement dix points apparaissant sur l'écran de manière à assurer une parfaite correspondance entre les positions enregistrées par l'oculomètre et les positions réelles des informations sur l'écran.

Processus Cognitif	Mesures Oculaires	Unités de mesure
Recherche d'information	Nombre de saccades	N
	Taille moyenne des saccades	Pixels
	Longueur du <i>scanpath</i>	Pixels
	Durée du <i>scanpath</i>	Msec
	Densité de Transition	%
	Aire convexe de Hull	Pixels ²
	Densité spatiale	%
Traitement de l'information	Durée des fixations	Msec
	Nombre de fixations	N

Tableau 2. Liste des mesures oculaires fournies par [GOL 95].

On peut en outre ajouter que les mesures temporelles (à partir des fixations) témoignent des centres d'intérêt ou des difficultés d'identification et d'intégration des informations induites par l'interface alors que les mesures spatiales (à partir des saccades) reflètent davantage les difficultés visuelles (problèmes de visibilité ou de lisibilité) ou attentionnelles rencontrées par les utilisateurs. Une notion essentielle empruntée à l'étude des images [FIS 83] est celle de *scanpath* qui est défini comme une séquence ordonnée des fixations et des saccades nécessaires à la récupération de l'information recherchée⁷. La longueur du *scanpath* (somme des distances algébriques d'une séquence saccadique mesurée en pixels) et sa durée (somme des fixations et des saccades en ms) fournit une mesure globale de l'efficacité de la recherche sur l'interface. De la même manière, la fréquence avec laquelle le regard passe d'une zone d'intérêt à l'autre est exprimée par une matrice de transitions [VIV 90] et celle-ci témoigne des déplacements attentionnels et des stratégies d'inspection. Le *scanpath* est primordial pour repérer l'ordre des opérations mentales et renseigne sur la séquence des éléments extraits de la page pour construire la représentation mentale. A partir de cette matrice de transitions, le calcul d'une densité des transitions indique si l'information recherchée a été récupérée facilement ou non. L'aire convexe de Hull (Calcul de l'aire formée par les points extrêmes du *scanpath*) et la densité spatiale (L'écran est quadrillé selon une granularité prédéfinie et l'on calcule le rapport entre le nombre de zones d'écran recevant au moins une fixation et le nombre total de zones) sont des indicateurs de dispersion et peuvent rendre compte des difficultés de la recherche d'information. La figure 2 illustre de manière graphique et arithmétique ces différentes mesures du *scanpath*.

⁷ L'analyse du *scanpath* peut également s'appuyer sur la totalité des données oculaires échantillonnées à intervalle fixe. Cette solution proposée par [GOL 98] n'apparaît toutefois pas suffisante pour distinguer l'utilisabilité d'une interface, c'est la raison pour laquelle nous préférons le *scanpath* formé à partir des fixations oculaires qui représentent un réel traitement de l'utilisateur.

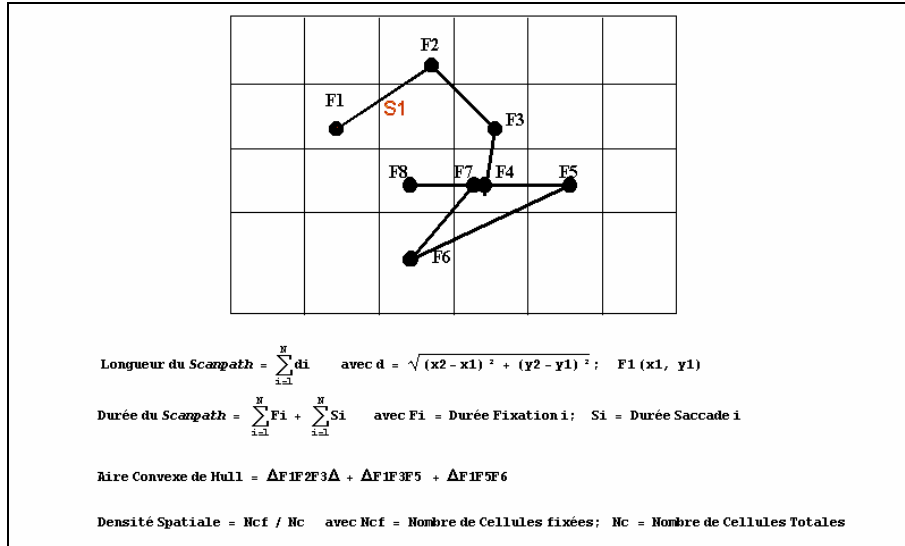


Figure 2. Représentation schématique d'un parcours oculaire avec numérotation des fixations (F_i – une saccade S_i étant définie comme l'intervalle entre deux fixations) fournissant les indicateurs du scanpath (durée, longueur, ...) et les formules mathématiques correspondantes.

A ces variables globales du traitement d'une page écran peut s'ajouter le traitement d'une zone particulièrement pertinente du point de vue de l'évaluation de l'interface car des informations importantes y sont placées (zones d'intérêt). On calcule alors le nombre et la durée des fixations sur cette zone, la fréquence d'inspection de la zone ou bien la probabilité pour que le regard retourne sur la zone (zones recevant plusieurs fixations non consécutives). Viviani [VIV 90] a ainsi montré que la durée des fixations augmente en fonction de l'importance des éléments présents dans une scène visuelle. Toutes ces mesures du scanpath, qui peuvent de plus être corrélées entre elles, informent sur la qualité de la prise d'information et sur les éléments du document qui ont attiré l'attention de l'utilisateur. La figure 3 illustre un cas concret d'analyse de scanpath obtenu à partir de la lecture de tableaux synoptiques, l'objectif était d'examiner la mise en place de stratégies d'inspection. La principale variable d'intérêt est l'ordre d'inspection des cases du tableau qui permet d'estimer si l'inspection oculaire est gouvernée par le type de relation sémantique (relation d'implication) existant entre les éléments du tableau.

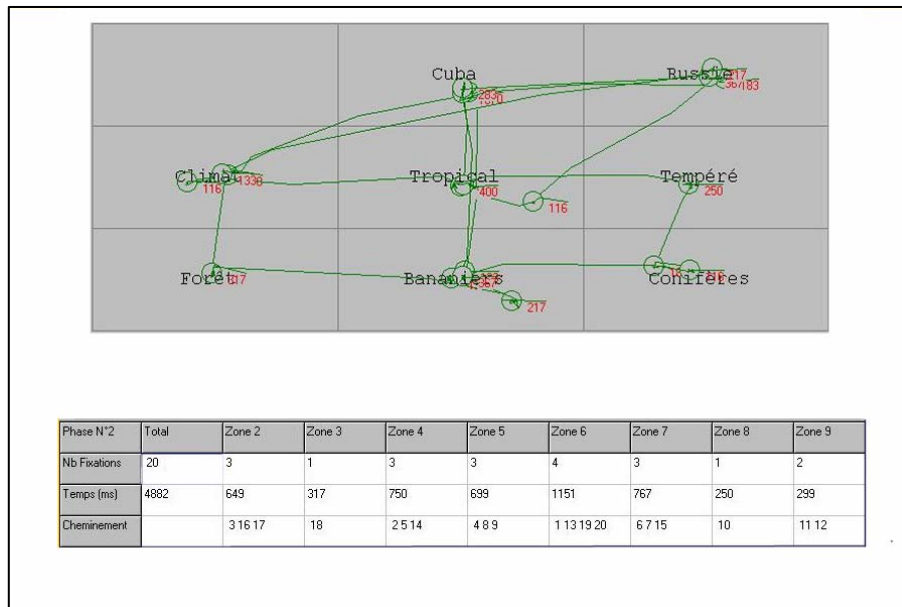


Figure 3. Tracé d'un scanpath enregistré pendant la lecture d'un tableau. Les zones d'intérêt correspondent ici aux différentes cases du tableau. La trajectoire de l'œil a été découpée en fonction de ces cases. Les fixations apparaissent sous la forme de cercles associées à leurs durées en ms. Au bas, les différents indicateurs oculaires sont résumés par cases (zones numérotées de haut en bas et de gauche à droite), c'est à dire le nombre de fixations, la durée totale d'inspection et le numéro des fixations à l'intérieur d'une case (en collaboration avec A.Pellegrin et S.Denis).

Toutefois, il s'agit de tester quelle est la part de l'activité cognitive que chaque variable mesure, travail qui débute seulement, afin de pouvoir utiliser de manière efficace l'oculométrie à des fins d'évaluation des interfaces. L'inspection d'un site Web peut être affectée par de nombreux facteurs perceptifs (contraste, couleur, ...) ou cognitifs (organisation du document, objectif et point de vue de l'utilisateur, connaissances préalables) et il s'agit de replacer chaque variable analysée dans le contexte d'utilisation du site. Par exemple, l'ordre d'inspection ou la durée d'un scanpath ne pourra pas être interprétée de la même manière s'il s'agit de rechercher rapidement une information sur un site ou de lire attentivement un paragraphe d'un document pour le comprendre. En outre, les mesures oculométriques peuvent être liées à d'autres indicateurs comportementaux repérables sur les interfaces (événements clavier, souris,...) qui enrichissent l'interprétation de l'évaluateur. Par exemple, l'analyse spatiale et temporelle du déplacement de la souris (que l'on peut qualifier de scanpath manuel), initialement développée par Baccino [BAC 91, 95]

pour montrer la réalité d'une mémoire spatiale en lecture, peut facilement être comparée à l'analyse du scanpath oculaire si l'on a pris soin auparavant de coupler l'enregistrement du regard à celui de la souris. L'avantage essentiel de ce couplage est de mettre en correspondance l'activité perceptive et attentionnelle de l'utilisateur (sa prise d'information oculaire) et les étapes ultérieures de traitement (reconnaissance de l'information recherchée, compréhension) avec les actions pratiquées lors de la navigation (objets sélectionnés par des clicks, zones traversées).

Analyse du web par la méthode oculométrique : questions courantes.

L'utilisation de la technique oculométrique dans l'évaluation des sites Web est encore en développement et très peu de travaux fiables sont disponibles actuellement. Les premières tentatives empiriques, largement inspirées par des considérations de marketing, ont donné quelques résultats descriptifs mais très peu d'explications comportementales sont disponibles, d'autant plus que la rigueur des situations expérimentales proposées n'est pas toujours présente. Par contre, certaines questions soulevées peuvent représenter des thématiques de recherche pour la psychologie cognitive. Cette dernière discipline a néanmoins déjà acquis de nombreuses données sur la perception visuelle, le comportement oculomoteur, l'attention, la mémoire et le traitement du langage qui peuvent aider l'interprétation de l'activité cognitive sur le web et dans la suite du chapitre nous évoquerons quelques pistes de recherche qui nous semblent dignes d'intérêt dans la perspective d'une hypothétique psychologie du web.

Etudes empiriques

L'enjeu majeur des études empiriques sur le web est de savoir ce que l'utilisateur regarde en priorité sur un site et quelles sont les stratégies qu'il développe pour naviguer sur le web. Les travaux tentent d'estimer la qualité de la mise en forme d'un site, le choix de la position des informations importantes (souvent des bannières publicitaires), la facilité de navigation entre les pages ou la mise en place de stratégies d'inspection, l'objectif étant d'optimiser l'interface. Par exemple, une étude réalisée par une école de journalisme (Institut Poynter) suggère que les stratégies oculaires d'inspection de pages électroniques sont nettement différentes de celles imprimées sur support papier. Elle indique que l'attention des lecteurs est principalement attirée par les images lorsque les pages sont imprimées sur papier alors que de manière surprenante, le texte constitue le point d'entrée des pages électroniques. Dans cette dernière situation, l'analyse des premières fixations sur les pages inspectées montre que le regard se pose préférentiellement sur des éléments textuels (en particulier titres, sous titres) alors que les éléments graphiques (icônes,

photographies, logo,...) ne sont inspectés de prime abord (i.e, les trois premières fixations) que dans 46% des cas [STA 90]. Cela ne signifie pas que le contenu graphique est négligé (sur l'ensemble de l'inspection, les images sont inspectées dans 64% des cas) mais simplement que le texte attire prioritairement le regard du sujet lorsque celui-ci découvre une nouvelle page. Ce résultat à première vue est très intéressant mais il s'agit de savoir ce qui détermine un tel comportement. Les auteurs expliquent ces différences comportementales par la mise en place de stratégies d'exploration adaptées. Si les textes sont préférés aux images lors de l'inspection initiale, c'est que les sujets ne *lisent* pas une page web mais plutôt la *parcourent* pour rechercher l'information afin de réaliser rapidement leurs objectifs (par exemple trouver un lien hypertextuel précis). L'utilisateur optimise donc sa recherche pour identifier l'information pertinente parmi l'ensemble des informations présentes sur la page et c'est apparemment l'information textuelle qui est la plus efficace pour cela, les éléments graphiques étant ressentis comme moins informatifs et par conséquent plus facilement ignorés. Toutefois, les images sont, lors des inspections ultérieures de la même page, plus souvent regardées que le texte, suggérant que l'utilisateur, une fois acquis une bonne vision globale du contenu du site, se focalise alors sur les détails. Il est à noter que les sujets recevaient comme consigne de naviguer librement sur le web sans contrainte d'aucune sorte.

Cette explication *ad hoc* fournie par les auteurs [STA 90] qui est plutôt d'ordre descriptive qu'interprétative nécessite, en outre, de s'interroger sur la raison pour laquelle les sujets abandonnent la stratégie de lecture au profit de stratégies plus rapides d'inspection des pages. Les causes peuvent être là aussi multiples. Elles peuvent concerner les propriétés de visibilité des écrans comme le taux de luminosité ou de contraste aboutissant à une lecture sur écran qui est 25% plus lente que celle sur papier. Cette vitesse de lecture ralentie résulte du fait qu'il y a 15% de fixations en plus par ligne [GOU 87]. La mauvaise visibilité pourrait entraîner un stress visuel [WIL 95] et pousserait les sujets à aller très rapidement à l'information recherchée puis à l'imprimer et à la lire sur papier. Une explication plus pragmatique consiste à dire que pour des raisons économiques, cette stratégie se serait mis en place au fur et à mesure de l'utilisation de l'Internet, la connexion à Internet ayant un coût, les sujets auraient appris à minimiser ce coût en tentant de repérer rapidement l'information recherchée alors qu'il est souvent nécessaire d'inspecter plusieurs dizaines de pages avant d'y parvenir. Cette hypothèse est en partie invalidée par les données présentées dans l'étude de l'Institut Poynter. Dès que l'article de journal recherché par le sujet est identifié, le tracé des mouvements oculaires sur cet article indique alors le retour à un comportement de lecture normale (au moins 75% du texte présenté est lu et non pas parcouru). Cela suggère que l'inspection rapide d'un document n'est pas due seulement à ses caractéristiques visuelles mais relèvent davantage de stratégies de lecture dirigées par la recherche du contenu.

Toutefois, le contenu du texte n'est pas le seul facteur qui permette de repérer une information et d'autres travaux ont indiqué, grâce à l'enregistrement des

mouvements des yeux, que la **forme** du document et surtout sa mise en page jouait un rôle important. Ellis et coll. [ELL 98] ont évalué quatre versions d'une page d'un site web qui variaient selon leur mise en forme : la mise en forme originale était comparée à des mises en forme qui accentuaient plutôt le nombre de liens (« multi-liens »), la largeur du texte (« texte large » conservant une présentation du texte sur toute la largeur de la page) ou le nombre d'images/icônes (« sans image »). La tâche consistait à rechercher une information sur une page écran et les performances de recherche révèlent un temps d'exploration plus rapide avec la condition « texte large ». Cette rapidité était obtenue par le fait que les zones de texte non pertinentes étaient moins souvent fixées et que la durée moyenne des fixations sur ces zones était également réduite. Une explication avancée par les auteurs indique que dans la condition « texte large », les sujets pouvaient analyser plus d'information par fixation accentuant le rôle de la vision parafovéale⁸ pour prétraiter les mots contigus aux mots fixés et expliquant ainsi la moindre quantité de fixations. L'argument est néanmoins très critiquable car les travaux sur la vision parafovéale en lecture [RAY 98] n'ont pu montrer jusqu'ici que des effets visuo-spatiaux qui affectent la lecture et non des aspects sémantiques. On peut également remarquer que la condition texte large respectait la dynamique oculomotrice de la lecture et réduisait donc le nombre de retours à la ligne alors que les autres conditions nécessitaient plus de mouvements des yeux. L'analyse du *scanpath* aurait été à cet égard déterminante. La supériorité de larges fenêtres a été maintes fois montrée en ergonomie [DIL 90 ; DUC 83, KRU 84]. Enfin, les pages devaient être *scrollées* ce qui logiquement avantagait la lecture du « texte large » puisqu'il nécessitait moins de défilement vertical (environ 50% en moins) expliquant, si besoin était, les durées d'exploration plus rapides. L'argument du scrolling pour expliquer les différences de performance s'est d'ailleurs révélé fondé puisque les auteurs ont répliqué l'expérience en contrôlant précisément la longueur du défilement vertical, les quatre versions de texte ne différaient plus alors de manière significative.

Les deux études empiriques présentées ci-dessus souffrent à maints égards de rigueur expérimentale et nous ne saurions qu'insister sur la nécessité d'une validation plus complète des mesures oculométriques associées à des comportements de l'utilisateur mais également à des études systématiques des nombreuses propriétés spécifiques du web et des documents électroniques. Quelques idées de recherche sont données dans la partie suivante.

La psychologie cognitive du web : prospectives

Les problèmes posés par la navigation sur les sites web questionnent directement les psychologues cognitifs et même si la psychologie du web n'est pas établie, de

⁸ La vision parafovéale correspond au champ visuel entourant la zone fovéale (région rétinienne à forte acuité visuelle) et elle correspond dans la lecture à une zone de 7 à 8 lettres à droite de la fixation.

nombreux résultats recueillis sur le comportement oculaire lors de la lecture ou de la recherche visuelle peuvent néanmoins s'y rattacher. Afin de limiter notre propos, nous nous occuperons des processus engagés dans la *recherche d'une information* (un mot ou un lien hypertextuel) sur une page électronique, activité essentielle sur le web et qui peut être efficacement testée par une analyse oculométrique. Rechercher une information sur une page nécessite la mobilisation de plusieurs processus cognitifs qui vont de la détection de l'information recherchée à l'évaluation de cette information par rapport au but à atteindre. Toutefois, il faut définir au préalable le type d'approche qu'une telle activité peut impliquer. On peut concevoir par exemple la recherche d'informations comme une tâche de résolution de problèmes qui consisterait à résoudre progressivement un ensemble de buts locaux menant à l'objectif à atteindre pour l'utilisateur (état final) et ceux-ci guideraient la sélection des informations sur le web [ROU 95, 98]. Dans cette perspective, la recherche d'informations est contrainte par les buts de l'utilisateur et la prise d'information (i.e. les mouvements des yeux) serait directement dépendante de la résolution de ces buts. Cette approche suppose un modèle cognitif suffisamment précis de la tâche et de l'objectif de l'utilisateur afin d'être capable d'interpréter correctement l'activité cognitive de l'utilisateur du web. Cependant, les objectifs pour rechercher de l'information sur le web sont multiples et peuvent évoluer en cours de recherche, en outre la tâche de recherche d'informations elle-même peut être contrainte par des besoins spécifiques induits par la situation de travail. Une caractéristique de cette approche est de considérer la recherche d'informations en termes d'états (buts) et non de processus, minimisant de ce fait la nature dynamique de construction des représentations cognitives. Or, rechercher de l'information, c'est également être capable de moduler la représentation mentale initiale de l'objectif à atteindre en fonction de la nature ou de la cohérence des informations visuelles successivement échantillonnées par le regard. A cela s'ajoutent les contraintes propres à la mémoire humaine (Mémoire de Travail, Mémoire permanente) et aux capacités d'attention qui peuvent orienter le traitement et donc le regard vers des zones informationnelles non spécifiquement reliées aux buts. L'approche, prioritairement suivie dans les études oculométriques, est de considérer que les processus sont davantage dirigés par les éléments inspectés de la page étant donné un but global à atteindre, celui-ci n'agissant que pour évaluer la cohérence de la représentation construite.

Fréquemment, sur les pages web, la première impression que l'on peut avoir est celle d'une extrême densité informationnelle mêlant éléments linguistiques, graphiques et imagés ce qui peut entraîner un sentiment de confusion. Un aspect essentiel qu'il s'agirait d'étudier précisément avec l'enregistrement des mouvements des yeux est celui du *format de présentation* des informations des pages web et de son rôle dans le traitement des documents électroniques. Le format de présentation des informations n'est pas un axe de recherche nouveau en psychologie cognitive et l'on a déjà des données sur le format des fenêtres [BUR 82], la présentation typodispositionnelle [LOR 95], la présence d'organiseurs [LOR 95, 96] mais la quasi-majorité des études portent sur l'analyse de mesures recueillies après la lecture (réponses à des questions ou taux de rappels). Les résultats ont souvent été discutés

en termes de visibilité ou de lisibilité des documents électroniques. A notre avis, grâce à l'enregistrement en Temps Réel, l'analyse des mouvements des yeux pourrait affiner la question du rôle du format de présentation car celui-ci affecte plusieurs niveaux de l'activité cognitive.

Une première question concerne *le rôle du format de présentation dans le guidage du regard*. S'il est clair que l'on n'inspecte pas une page de manière aléatoire lorsqu'on a un objectif précis à suivre, il serait important de connaître quels sont les éléments visuels et sémantiques de la page qui attirent plus spécifiquement le regard. En ce qui concerne les éléments visuels, cette question renvoie à l'organisation perceptive des informations et aux lois de la Gestalt censées décrire la manière avec laquelle les êtres humains perçoivent certains regroupements d'informations. Les théoriciens de la Forme ont ainsi énoncé les principes de proximité, similitude, etc.. comme des manifestations de la loi de prégnance [KOF 35] susceptible de faire émerger « la forme la meilleure ». La question n'est pas ici de reprendre à notre compte les postulats gestaltistes qui ont montré leurs limites dans l'explication des phénomènes mais de connaître si ces principes permettraient de décrire le parcours du regard sur une page. Autrement dit, le regard peut-il être en partie dirigé par des informations visuelles comme la texture, la couleur de certaines zones, l'écriture en lignes ou en colonnes apparaissant sur la page ⁹? Une page web est ainsi souvent structurée par une mise en forme matérielle (indentation, colonnes/lignes, texture, couleur, bandeaux, ...) qui définit des groupements d'information ou des zones de saillance visuelle et il serait intéressant d'évaluer la part respective de ces facteurs dans la prise d'information oculaire et peut être les stratégies de lecture. Il est possible que le groupement d'informations affecte les premières fixations sur la page renseignant l'utilisateur sur l'organisation et l'articulation des unités sémantiques dans le document et facilitant dans un second temps l'activité cognitive (recherche d'informations ou lecture). Smith & McCombs [SMI 71] ont montré que l'insertion de lignes vides entre des paragraphes en autorisant le regroupement de blocs de textes conduisait à une lecture plus rapide. De manière similaire, il est bien connu que le regroupement d'informations à l'intérieur d'une page n'est possible que si seulement trois ou quatre couleurs sont présentes [REY 79]. Bien évidemment, il est clair que les aspects perceptifs d'une page ne peuvent affecter le guidage du regard que s'ils correspondent à un traitement cognitif sous-jacent. Comme l'a montré Yarbus [YAR 67], il existe un lien important entre le parcours oculaire et l'analyse cognitive courante. La direction du regard dépend aussi de la signification des éléments regardés, l'objectif à atteindre, le point de vue de l'utilisateur et les connaissances préalables [VIV 90]. Mais nous pensons que l'analyse oculaire pourrait fournir des informations sur la nature des traitements initiaux (lorsque l'utilisateur découvre une page) qui peuvent être davantage sensibles aux aspects visuels comparés aux traitements ultérieurs plus affectés par le traitement cognitif.

⁹ Les peintres eux-même l'affirment : « l'œil suit les chemins qui lui ont été ménagés dans l'œuvre », Paul Klee (*Pädagogisches Skizzenbuch*).

Un autre aspect induit par le format de présentation est celui d'une *mémoire spatiale* des informations. Les lecteurs mémorisent la position spatiale des mots ou des informations importantes d'un texte (éléments référentiels) leur permettant de ramener rapidement et précisément leur regard (avec une seule saccade régressive¹⁰) à ces positions lorsqu'une incompréhension surgit dans le texte [KEN 91, BAC 94]. Par exemple, des ambiguïtés syntaxiques ou sémantiques conduisent à des retours fréquents sur le texte déjà lu ce qui permet au lecteur de poursuivre son travail intégratif, processus essentiel dans la compréhension. Néanmoins, pour que ces retours du regard soient précis, il faut que les positions spatiales des mots n'aient pas été modifiées auparavant par un scrolling ce qui arrive fréquemment sur le web. De nombreux travaux ergonomiques ont suggéré les aspects négatifs du scrolling [BOW 89, BUR 82] mais peu d'explications en termes cognitifs sont fournies. Nous pensons que le défilement vertical d'un texte annule les adresses spatiales préalablement encodées perturbant ainsi le retour sur des zones informationnelles déjà inspectées. Sachant qu'en lecture, 10 à 15% des saccades sont régressives et concernent des relectures [RAY 98], l'étude plus précise des mécanismes impliqués par cette mémoire spatiale apparaît importante. L'analyse des mouvements des yeux pourrait nous informer sur l'étendue de la perturbation provoquée par les affichages dynamiques et les stratégies palliatives élaborées par les utilisateurs.

L'idée d'une mémoire spatiale renvoie directement à la notion d'*attention visuelle* et de son rôle dans le guidage du regard. Il faudrait montrer que l'adjonction aux endroits importants du texte de marques graphiques ou visuelles (soulignement, surlignement, mise en gras) pourrait par exemple rehausser à certains endroits de la page le niveau d'attention visuelle et conduire à une meilleure mémorisation de la position de ces informations. L'analyse des mouvements des yeux pourrait nous renseigner sur les propriétés qui orientent l'attention de l'utilisateur vers certaines zones du document. L'orientation de l'attention visuelle a été précisément étudiée dans la recherche de cibles non-linguistiques et a donné lieu au développement de la théorie d'intégration des traits [TRE 88]. Cette théorie stipule que le sujet extrait très rapidement les caractéristiques du champ visuel dans lequel doit s'effectuer la recherche de l'objet-cible alors que son identification a lieu ultérieurement à partir du moment où l'attention visuelle est dirigée sur lui. Dans cette perspective, le champ visuel est codé initialement selon un certain nombre de dimensions distinctes (couleur, orientation, fréquence spatiale...) qui sont ensuite combinées de telle sorte que seules les caractéristiques spécifiques à l'objet recherché sont intégrées. Lorsque la cible peut se détacher des autres éléments du champ visuel par une seule caractéristique, la recherche est efficace. Par exemple, rechercher une lettre écrite en rouge sur une page remplie de lettres d'une autre couleur est très rapide car la recherche s'effectue en prenant seulement la couleur comme caractéristique spécifique (effet *PopOut*). Lorsqu'il s'agit d'intégrer correctement les caractéristiques des objets dans une situation complexe, les différents objets de la situation sont traités les uns après les autres en fonction de l'orientation de

¹⁰ Saccade déclenchée de droite à gauche pour revenir sur du texte déjà lu.

l'attention. Dans cette théorie, l'attention joue un rôle essentiel d'intégrateur des caractéristiques ce qui permet la perception de l'objet cherché. Si cette attention est réduite, l'intégration de l'objet est plus difficile et provoque de nombreuses illusions perceptives (appelées de conjonction). La théorie d'intégration des traits suggère que les objets ne sont pas réellement présents dans notre champ visuel au delà d'une zone d'attention mais constituent seulement des groupes de caractéristiques non assemblées et non localisées. Cette idée d'orientation de l'attention visuelle a été reprise par Morrison [MOR 84] pour expliquer comment se déplaçait le regard pendant la lecture. Morrison montre que le déplacement de l'attention visuelle précède le déplacement du regard qui ne débute qu'à partir du moment où les opérations de reconnaissance du mot fixé sont achevées. Ce déplacement de l'attention peut permettre d'initier le traitement du mot situé en périphérie et toute la question est de savoir quels sont les déterminants visuels/linguistiques qui sont perçus durant ce déplacement attentionnel (notion d'empan visuel). Rayner [RAY 98] souligne que des informations physiques (longueur, forme du mot) sont perçues en parafovéa mais également des informations linguistiques telles que la fréquence lexicale ou la familiarité morphologique ce qui facilite la reconnaissance lexicale ultérieure [INH 90]. L'influence de facteurs sémantiques situés en parafovéa restent toutefois à tester et l'analyse des mouvements des yeux peut être à cet égard déterminante. Par exemple, la plupart des pages web sont très riches en information et il serait intéressant d'évaluer, lors de la recherche d'information, la quantité et la qualité de l'information qu'un utilisateur pourrait percevoir en parafovéa.

Enfin, les aspects visuels et organisationnels d'un document électronique peuvent faciliter sa compréhension en induisant une *stratégie de lecture* spécifique. Par exemple, les travaux de Lorch [LOR 96] montrent que lorsque la structure sémantique d'un texte est, par exemple, mise en relief par la numérotation des paragraphes, les lecteurs se rappellent des informations évoquées dans le texte de façon hiérarchique en établissant un ordre d'accès selon l'importance des informations. Cette hiérarchie suit la structure thématique élaborée par l'auteur. Lorsque le texte n'apporte pas d'informations organisationnelles, le lecteur rappelle les informations de manière temporelle, au fur et à mesure de leur apparition dans le texte. En fonction de la disponibilité des marques d'organisation, il y aurait ainsi la mise en place d'un certain type d'encodage. Récemment nous avons mis en évidence que ces différences d'encodage s'accompagnaient d'une prise d'information spécifique [SCH, in]. Les sujets devaient lire des textes procéduraux (consignes) dont une version avait une mise en forme matérielle – MFM (organisation structurée par un système d'indentation) alors que l'autre version n'en possédait pas (texte justifié) pendant que l'on enregistrerait leurs mouvements des yeux. Les résultats montrent que dans la version MFM, l'organisation des informations est perçue dès les premières fixations oculaires conduisant à la mise en place d'une stratégie de lecture hiérarchique qui facilite par la suite les opérations intégratives engagées dans la compréhension du texte.

D'autres questions concernant la recherche d'information sur des hypertextes (linéaire, hiérarchique, en réseau) gagneraient également à être examinées par la technique oculométrique. En particulier, la manière avec laquelle est effectuée la sélection des informations sur la page ou le repérage des liens hypertextuels. Les liens hypertextuels sont des éléments essentiels dans la navigation sur le web puisqu'ils représentent les moyens les plus utilisés pour se déplacer entre pages ou entre sites. On peut distinguer les liens graphiques et les liens textuels. Si les liens graphiques posent essentiellement des problèmes de positionnement sur la page, les liens textuels ajoutent une difficulté liée à leur double nature d'être à la fois des éléments *linguistiques* mais également des éléments *d'action* qui vont déclencher des procédures (changer de page, acheter, télécharger,...). Une analyse des fixations oculaires et du scanpath pourrait mettre en évidence d'éventuelles difficultés de sélection dues soit à leur nature linguistique, soit à leur positionnement dans la procédure à effectuer [COL 00].

Conclusion

Avec la rapidité croissante des connections Internet, le contenu des pages du web a également suivi cette croissance et l'on est passé à des sites formés simplement de pages de texte à des documents électroniques complexes mélangeant des fonds colorés, des images animées, des séquences vidéo, des éléments dynamiques (curseur modifié sur certaines zones) ajoutés à des séquences sonores. Mais si l'imagination des développeurs et des *webmasters* est très féconde en cette matière, cela entraîne souvent pour l'utilisateur une « overdose » informationnelle qui perturbe ses capacités perceptives, attentionnelles et plus largement sa compréhension, sa mémorisation et ses stratégies d'apprentissage. Les ergonomes de l'utilisabilité ont à cet égard du « pain sur la planche » pour inverser la tendance et nous pensons que c'est seulement en ayant un outil d'enregistrement en Temps Réel de l'activité cognitive qu'ils pourront interpréter précisément le comportement de l'utilisateur du web. L'enregistrement des mouvements des yeux représente à l'heure actuelle une technique précise, fiable et suffisamment simple d'emploi pour jouer ce rôle. La méthode permet de conserver des conditions naturelles d'inspection des pages tout en autorisant un pistage précis des opérations cognitives. L'analyse des traces de l'activité oculaire peut servir pour évaluer l'utilisabilité des interfaces afin dans un second temps de proposer les remédiations éventuelles mais également comme outil d'acquisition d'informations fondamentales sur le fonctionnement cognitif susceptibles d'enrichir les modèles cognitifs de l'utilisateur. Lors de la phase de conception d'une interface, la méthode oculométrique pourrait également être mise en œuvre pour tester systématiquement les différentes versions produites lors du prototypage. Il faut néanmoins insister sur le fait que la technique oculométrique pour avoir une quelconque valeur heuristique doit être employée à

l'intérieur d'un cadre expérimental rigoureux¹¹ et l'interprétation des données se référer à des modèles cognitifs éprouvés. Il serait également judicieux de corrélérer ces mesures Temps Réels avec des mesures recueillies consécutivement à la tâche (réponses à des questionnaires, rappels, ..) afin d'évaluer pour une tâche donnée les meilleurs prédicteurs de l'activité cognitive.

Pour conclure, la méthode oculométrique, bien que vieille de près d'un siècle, bénéficie avec le développement du web et l'amélioration des systèmes d'enregistrement d'un champ de recherches et d'applications potentielles croissant. D'autres domaines seulement évoqués aujourd'hui pourraient bénéficier dans l'avenir de la méthode oculométrique telles que la réalité virtuelle [JAC 95], l'adaptation d'interfaces adaptés pour les handicapés moteurs ou comme outils directs de manipulation des interfaces pour sélectionner des menus, des liens hypertextuels ou faire apparaître des informations d'aide.

Bibliographie

- [BAC 91] BACCINO, T. Codage spatial et lecture de textes sur écran: Etude du codage par un paradigme de pointage. Thèse de Doctorat, Université d'Aix-en-Provence, 1991.
- [BAC 92] BACKS, R. W., & WALRATH, L. C. Eye movement and pupillary response indices of mental workload during visual search of symbolic displays. *Applied Ergonomics*, 23[4], 1992, 243-254.
- [BAC 94] BACCINO, T., & PYNTE, J. Spatial coding and discourse models during text reading. *Language and cognitive processes*, 9(2), 1994, 143-155.
- [BAC 95] BACCINO, T., & KENNEDY, A. MICELAB: Spatial processing from a mouse movement. *Behavioral Research Methods, Instruments & Computers*, 27[1], 1995, 76-82.
- [BAC 98] BACCINO, T., & PYNTE, J. Spatial encoding and referential processing during reading. *European Psychologist*, 3[1], 1998, 51-61.
- [BIS 99] BISSERET, A., SEBILLOTTE, S., & FALZON, P. *Techniques pratiques pour l'étude des activités expertes*, Toulouse, Octarès, 1999.
- [BOW 89] BOWHUIS, D.G. Reading as goal-driven behaviour, *In Working Models of Human Perception*, B. Elsendoorn et H.Bouma [Eds.], 341-362. London : Academic Press., 1989.
- [BUR 82] BURY, K. F., BOYLE, J. M., & NEAL, A. S. Windowing versus scrolling on a visual display terminal. *Human Factors*, 24[4], 1982, 385-394.

¹¹ Les protocoles expérimentaux doivent privilégier des plans d'expérience à mesures répétées (plusieurs mesures effectuées sur un même sujet et pour une même condition expérimentale) et contrôler au maximum les facteurs testés (pages du web calibrées, nombre de facteurs expérimentaux réduits).

- [CHA 98] CHAPMAN, P. R., & UNDERWOOD, G. Visual search of dynamic scenes: Event types and the role of experience in viewing driving situations. In G. Underwood & et al. [Eds.], *Eye guidance in reading and scene perception* [pp. 369-393]. Oxford, England UK: Anonima Romana, 1998.
- [COL 00] COLOMBI, T., & GALAS, C. Un Supermercato in Rete: Agenti Intelligenti e Modellizzazione dell'Utente, Tesi di Laurea, Universita di Torino, 2000.
- [COL 99] COLLEWIJN, H. Eye Movement Recording. In R. H. S. Carpenter & J.G.Robson [Eds.], *Vision Research: A practical Guide to Laboratory Methods* [pp. 245-285]. Oxford: Oxford Univ. Press. 1999.
- [DIL 90] DILLON, A., RICHARDSON, J., & MCKNIGHT, C. The effects of display size and text splitting on reading lengthy text from screen. *Behaviour and Information Technology*, 9[3], 1990, 215-227.
- [DIX 98] DIX, A. J., FINLAY, J. E., ABOWD, G. D., & BEALE, R. *Human-Computer Interaction*. London: Prentice Hall Europe, 1998.
- [DUC 83] DUCHNICKY, R.L. & KOLERS, P.A. Readability of text scrolled on visual display terminals as a function of window size, *Humans Factors*, 25[6], 1983, 683-692.
- [DYD 89] D'YDEVALLE, G., WARLOP, L., & VAN RENSBERGEN, J. Television and Attention. In J. Groebel, P. Vitouch, & P. Winterhoff-Spurk [Eds.], *Medien psychologie : Zeitschrift für Individual- Und Massenkommunikation* [pp. 42-57]: Westdeustcher Verlag, 1989.
- [ELL 98] ELLIS, S., CANDREA, R., MISNER, J., CRAIG, C.S., LANKFORD, C.P., HUTCHINSON, T.E. *Windows to the Soul? What Eye Movements Tell Us About Software Usability*, Actes de la Conference UPA, 1998.
- [FEN 34] FENN, W.O. & HURSH, J.B. Movements of the eye when the lids are closed, *American Journal of Physiology*, 118, 1934, 8-14.
- [FIS 83] FISHER, D.F., KARSH, R., BREITENBACH, F. & BARNETTE, B.D. Eye movements and picture recognition : contribution and embellishment, In R.Groner, C/Menz, D.F.Fisher, R.A.Monty, [Eds.], *Eye Movements and Psychological Functions : International Views*, Hillsdale, NJ : Lawrence Erlbaum Associates, 1983.
- [GOL 95] GOLDBERG, J. H., & SCHRYVER, J. C. Eye-Gaze Contingent Control of the Computer Interface: Methodology and Example for Zoom Detection. *Behavior Research Methods, Instruments & Computers*, 27[3], 1995, 338-350.
- [GOL 98] GOLDBERG, J.H., AND KOTVAL, X.P. Computer interface evaluation using eye movements: Methods and constructs. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 24, 1998, pp. 631-645.
- [GOU 87] GOULD, J. D., ALFARO, L., FINN, R., HAUPT, B., & MINUTO, A. Reading from CRT displays can be as fast as reading from paper. *Human Factors*, 29[5], 1987, 497-517.
- [HEG 92] HEGARTY, M., MAYER, R. E., & GREEN, C. E. Comprehension of Arithmetic Word Problems: Evidence from Students'Eye Fixations. *Journal of Educational Psychology*, 84(1), 76-84.

- [HEN 98] HENDERSON, J. M., & HOLLINGWORTH, A. Eye movements during scene viewing: An overview. In G. Underwood (Ed.), *Eye Guidance in Reading and Scene Perception*. 1998.
- [HUE 00] HUEY, E. B. On the Psychology and physiology of reading. *The American Journal of Psychology*, XI[3], 1900, 283-302.
- [HUE 08] HUEY, E. B. *The psychology and pedagogy of reading*. New-York: MacMillan, 1908.
- [INH 90] INHOFF, W. A. Integrating information across eye fixations in reading: the role of letter and word units. *Acta Psychologica*, 73, 1990, 281-291.
- [JAC 95] JACOB, R.J.K. *Eye Tracking in Advanced Interface Design*, en *Virtual Environments and Advanced Interface Design*, W. Barfield et T.A. Furness Eds., pp. 258-288, Oxford University Press, New York, 1995.
- [JAS 96] JASCHINSKI, W., BONACKER, M., & SCHUBERT-ALSHUTH, E. Accomodation, convergence, pupil and eye blinks at a CRT-display flickering near fusion limit. *Ergonomics*, 39[1], 1996, 152-164.
- [KEN 91] KENNEDY, A. The spatial coding hypothesis. In K. Rayner [Ed.], *Eye movements and visual cognition* [pp. 379-396]. New-York, 1991.
- [KOF 35] KOFFKA, K. *Principles of Gestalt Psychology*, New-York : Harcourt Brace, 1935.
- [KRU 84] KRUK, R. S., & MUTER, P. Reading of continuous text on video screens. *Human Factors*, 26[3], 1984, 339-345.
- [LOH 97] LOHSE, G.L. Consumer eye movement patterns on yellow pages advertising, *Journal of Advertising*, 26(1), 1997, 61-73.
- [LOR 95] LORCH, R. F., & LORCH, E. P. Effects of organizational signals on text-processing strategies. *Journal of educational psychology*, 87[4], 1995, 1-7.
- [LOR 95] LORCH, R. J., LORCH, E. P., & KLUSEWITZ, M. A. Effects of typographical cues on reading and recall of text. *Contemporary educational psychology*, 20, 1995, 51-64.
- [LOR 96] LORCH, R. F., & LORCH, E. P. Effects of organizational signals on free recall of expository text. *Journal of educational psychology*, 88[1], 1996. 12-26.
- [MOR 84] MORRISON, R.E. Manipulation of stimulus onset delay in reading : Evidence for parallel programming of saccades, *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, 10, 1984, 667-682.
- [NIE 94] NIELSEN, J. Heuristic Evaluation, In *Usability Inspection Methods*, John Wiley : New-York, 1994.
- [POL 92] POLSON, P., LEWIS, C., RIEMAN, J. & WHARTON, C. Cognitive walkthroughs : A method for theory-based evaluation of user interfaces, *International Journal of Man-Machine Studies*, 36, 1992, 741-773.
- [REY 79] REYNOLDS, L. Teletex and viewdata – a new challenge for the designer, *Information Design Journal*, 1, 1979, 2-14.

- [ROU 95] ROUET, J. F., & TRICOT, A. Recherche d'informations dans les systèmes hypertextes: des représentations de la tâche à un modèle de l'activité cognitive. *Sciences et Techniques éducatives*, 2[3], 1995, 307-331.
- [ROU 98] ROUET, J. F., & TRICOT, A. Chercher de l'information dans un hypertexte: vers un modèle des processus cognitifs. In A. Tricot & J.F. Rouet [Eds.], *Les hypermédias, approches cognitives et ergonomiques* [pp. 57-74]. Paris: Hermes, 1998.
- [SCH inp] SCHMID, S & BACCINO, T. Stratégies de lecture pour les textes à consignes, *Langages*, In Press.
- [SER 99] SERVANT, I., & BACCINO, T. Lire Beethoven: une étude exploratoire des mouvements des yeux. *Scientiae Musicae*, 3[1], 1999, 67-94.
- [SMI 71] SMITH, S.L. & MCCOMBS, M.E. The graphics of prose, *Journalism Quarterly*, 48, 1971, 134-136.
- [SPE 83] SPERANDIO, J. C., & BOUJU, F. L'exploration visuelle de données numériques présentées sur écran cathodique. *Le Travail Humain*, 46(1), 1983, 50-63.
- [STA 90] STARK, P. & GARCIA, M. Eye on the news, In E. Miller (Ed.), *Poynter Eye tracking Study*, Poynter, 1990.
- [SVE 97] SVENSSON, E., ANGELBORG-THANDERZ, M., SJOEBERG, L., & OLSSON, S. Information complexity: Mental workload and performance in combat aircraft. *Ergonomics*, 40[3], 1997, 362-380.
- [TRE 88] TREISMAN, A. & GORMICAN, S. Feature analysis in early vision, *Psychological Review*, 95, 1988, 15-30.
- [VIV 90] VIVIANI, P. Eye movements in visual search: cognitive, perceptual and motor control aspects. In E. Kowler [Ed.], *Eye Movements and their Role in Visual and Cognitive Processes* [pp. 353-393]. Amsterdam: Elsevier, 1990.
- [WEI 91] WEISER, M. The Computer for the 21st Century, *Scientific American*, 265, 3, 1991, 66-75.
- [WIL 95] WILKINS, A. *Visual Stress*. Oxford: Oxford University Press, 1995.
- [YAR 67] YARBUS, A. *Eye movements and vision*. New-York: Plenum Press, 1967.
- [YOU 75] YOUNG, L. R., & SHEENA, D. Survey of eye movement recording methods. *Behavior Research Methods & Instrumentation*, 7(5), 1975, 397-429.