

**LES MOUVEMENTS OCULAIRES COMME INDICE ON-LINE
DES PROCESSUS COGNITIFS : REVE OU REALITE?**

Françoise Vitu & J. Kevin O'Regan

CNRS, Université René Descartes,

Boulogne-Billancourt, France.

Pour toute correspondance, contacter :

Françoise Vitu-Thibault,

CNRS, Université René Descartes,

Laboratoire de Psychologie Expérimentale,

71 avenue Edouard Vaillant,

92774 Boulogne-Billancourt Cedex.

Tel : 01 55 20 58 64

Fax : 01 55 20 58 54

e-mail : Francoise.Vitu@psycho.univ-paris5.fr

Résumé

Dans le but d'examiner portées et limites de l'utilisation des mouvements oculaires comme indices des processus linguistiques, une revue critique des travaux portant sur les mouvements des yeux pendant la lecture est présentée. Cette revue met particulièrement l'emphase sur les données de la littérature illustrant la relative autonomie du guidage oculaire en regard des traitements linguistiques et par conséquent de la difficulté à apparenter mot fixé et mot traité, ou encore temps de fixation et temps de traitement. Elle expose par ailleurs, les points forts de l'analyse du comportement oculaire, dont notamment sa capacité à révéler les étapes précoces de l'extraction des informations visuelles, et met en avant les points critiques des modèles actuels de reconnaissance des mots.

LES MOUVEMENTS OCULAIRES COMME INDICE ON-LINE DES PROCESSUS COGNITIFS : REVE OU REALITE?

Pour l'étude de la perception et de la compréhension du langage écrit, les psycholinguistes ont traditionnellement recours à un ensemble de tâches telles que la décision lexicale, la dénomination, la catégorisation sémantique, ou encore la lecture par auto-présentation segmentée. Nombreux sont ceux cependant, qui ont récemment remplacé bouton réponse et clef vocale par un oculomètre, et cela notamment afin d'aborder l'étude des processus associés au traitement syntaxique. La technique d'enregistrement des mouvements oculaires est en effet très attrayante. En offrant la possibilité de travailler dans des situations naturelles de lecture, elle présente une validité écologique certaine. Son utilisation repose néanmoins sur le postulat selon lequel les déplacements du regard reflètent en temps réel la dynamique des processus cognitifs sous-jacents à la lecture. Or, comme nous l'enseigne un petit retour sur l'histoire, ce postulat bien que reflétant l'espoir nourrit par de nombreux chercheurs, n'est pas complètement fondé.

C'est dans les années 70, que la possibilité d'utiliser les mouvements oculaires comme indices on-line des processus cognitifs est clairement envisagée. Cette idée, soutenue par trois chercheurs (G.W. McConkie et K. Rayner aux USA, et J.K. O'Regan en France), bien que très intuitive, constitue à l'époque, un véritable défi. Les premiers travaux sur l'oculomotricité et la lecture qui font suite à la découverte faite par Javal et son équipe de l'alternance de saccades et de fixations pendant la lecture, sont en effet peu prometteurs (Javal, 1878; Lamarre, 1893). Dès le début du XX^{ème} siècle, Huey (1908; voir aussi Buswell, 1920; Bouma & de Voogd, 1974) soumet l'hypothèse selon laquelle le comportement oculaire pendant la lecture est uniquement l'expression d'une rythmique oculomotrice indépendante de la nature des informations rencontrées. En 1958, Tinker conclut, après 20 années de recherche, que

« l'analyse des processus de la lecture au travers des mouvements oculaires a probablement déjà donné tout ce qu'elle pouvait apporter » (p.229). Enfin, à l'aube du regain d'intérêt pour les mouvements oculaires, Lévy-Schoen (1969 ; voir aussi Lévy-Schoen, 1983) met en garde sur la « tendance à associer la fixation oculaire avec la préférence pour l'objet fixé » (p.181) et qualifie la motricité oculaire pendant la lecture de « performance perceptivo-motrice » automatisée et fort complexe.

Comme le notent O'Regan et Lévy-Schoen, dans une revue de question publiée dans l'Année Psychologique en 1978, l'espoir entretenu dans les années 70 est associé au développement d'une nouvelle approche du comportement oculaire. Les études passées s'étaient en effet limitées à mesurer les caractéristiques globales du comportement oculaire telles que l'amplitude moyenne des saccades et la durée moyenne des fixations en fonction de facteurs globaux tels que la difficulté du texte, l'âge et l'expertise des lecteurs, ou encore le type de lecture. La nouvelle approche, plus locale, vise quant à elle à décomposer l'analyse du comportement oculaire en fonction des propriétés linguistiques de chaque segment de texte lu. Très rapidement cependant, cette entreprise va se révéler comme étant trop ambitieuse. Bien que contredisant l'hypothèse émise par Huey (1908), d'une totale autonomie du guidage oculaire en regard des traitements linguistiques, les travaux réalisés ne permettent pas de conforter l'idée d'un guidage strictement cognitif, la lecture étant aussi le siège d'interactions entre processus oculomoteurs et perceptifs.

Dés le milieu des années 80, les chercheurs se démarquent alors tant par leur approche de l'oculomotricité et la lecture, que par la valeur qu'ils accordent aux mouvements oculaires en tant qu'outil pour la psycholinguistique. K. Rayner et ses collaborateurs (University of Massachusetts at Amherst, USA), concentrent principalement leurs efforts à tenter d'étayer l'hypothèse d'un contrôle cognitif du guidage oculaire (Rayner & Pollatsek, 1989; Rayner, 1998; Reichle, Rayner, & Pollatsek, 2003). Leurs travaux consistent en une analyse

systematique et quasi exhaustive de l'influence des propriétés lexicales, syntaxiques et sémantiques des mots sur les différentes caractéristiques de l'exploration oculaire. Peu de place est accordée ici à l'étude des facteurs visuo-moteurs, leur influence étant soit négligée, soit considérée comme inhérente à l'outil, et donc sans trop d'intérêt. Cette approche, très influente auprès d'une communauté scientifique à la recherche d'un outil approprié et écologiquement valide, vient alors encourager, de façon exagérée, l'utilisation des mouvements oculaires comme indice des processus cognitifs. A l'heure actuelle, les auteurs bien que toujours ancrés dans une perspective cognitiviste, affichent néanmoins un enthousiasme beaucoup plus modéré quant à l'apport des mouvements oculaires pour l'étude des processus syntaxiques et sémantiques (voir Clifton, 2003; Kambe, Duffy, Clifton, & Rayner, 2003; Reichle et al., 2003).

G.W. McConkie (University of Illinois at Urbana-Champaign, USA) développe quant à lui, très rapidement, la conviction que les mouvements oculaires ont leur mode de fonctionnement propre et que ce sont par conséquent, les propriétés de ce système qu'il faut étudier en priorité. Privilégiant pour parvenir à ce but, la naturalité de la situation de lecture, c'est à l'aide d'outils statistiques et mathématiques qu'il entreprend en collaboration avec d'autres chercheurs, la description des régularités visuo-motrices sous-jacentes à la lecture naturelle de textes (McConkie & Dyre, 2000 ; McConkie, Kerr, & Dyre, 1994 ; McConkie, Kerr, Reddix, & Zola, 1988 ; McConkie, Kerr, Reddix, Zola, & Jacobs, 1989 ; Radach, & McConkie, 1998 ; Vitu, McConkie, Kerr, & O'Regan, 2001 ; Yang & McConkie, 2001 ; 2004). Il émet un certain nombre de réserves quant à l'utilisation des mouvements oculaires comme outil, mais entretient l'espoir que la poursuite des recherches dans cette voie permettra un jour de disposer d'un outil dont on connaît les aléas et fluctuations.

Dans le même état d'esprit, les travaux menés au sein du Groupe Regard¹ (CNRS, Université René Descartes, Paris) se centrent sur l'étude des interactions entre les processus oculomoteurs et perceptifs impliqués dans la programmation des saccades et l'extraction des informations visuelles. Ils se distinguent cependant, par une approche minimaliste consistant en une analyse fine des composantes du comportement oculaire adopté dans des tâches perceptives et de lecture simplifiées, telles l'exploration ou la visée de stimuli sans signification, et la reconnaissance de mots isolés. Cette approche, fortement inspirée des travaux pionniers menés par A. Lévy-Schoen dans les années 60, contribuera à l'émergence d'un courant de recherche que l'on nommera plus tard « Vision Active » (voir Findlay, 2003).

Conjointement aux travaux de McConkie, les recherches initiées au sein du Groupe Regard permettent d'identifier les caractéristiques de l'extraction des informations visuelles, ainsi que les contraintes visuo-motrices sous-jacentes à l'exploration oculaire pendant la lecture. Elles mènent dans un premier temps à une position théorique extrême selon laquelle le guidage oculaire pendant la lecture repose principalement sur des stratégies oculomotrices prédéterminées dont la mise en œuvre nécessite uniquement un traitement visuel de bas niveau (O'Regan, 1990; 1992; O'Regan & Lévy-Schoen, 1987). Depuis, des propositions alternatives moins extrêmes ont été avancées; celles-ci laissent une place plus grande aux facteurs de type traitement, mais reposent toujours sur l'idée phare selon laquelle ce sont les processus visuo-moteurs qui gèrent en premier lieu la génération et la programmation des saccades (voir Reilly & Radach, 2003 ; Vitu & O'Regan, 1995; Vitu, 1999a ; 2003 ; Yang & McConkie, 2001 ; 2004 ; voir aussi Deubel, O'Regan, & Radach, 2000). De telles conceptions soulignent non seulement les limites d'utilisation des mouvements oculaires comme indices

¹ Le groupe Regard créé par A. Lévy-Schoen et K. O'Regan dans les années 80 et dissout au milieu des années 90, sera rejoint entre autres par C. Coëffé, A. Jacobs, Z. Kapoula, T. Nazir et F. Vitu (dont les noms sont cités dans ce chapitre). Il était installé au cœur de Paris. Les membres de l'équipe autres que les deux auteurs sont maintenant installés dans d'autres laboratoires en France et à l'étranger.

des processus cognitifs, mais aussi l'incontournable nécessité de leur analyse pour l'étude des étapes précoces d'extraction visuelle sur lesquelles repose la lecture.

Bien que principalement centrés sur l'étude des processus visuo-moteurs sous-jacents à la lecture, nos travaux se sont aussi attachés à déterminer les propriétés critiques des mots qui interviennent dans leur identification et interagissent avec les facteurs perceptifs. Cette entreprise s'est révélée très constructive puisqu'elle a donné lieu à plusieurs publications significatives dans le domaine de la reconnaissance des mots (voir par exemple, Grainger, O'Regan, Jacobs, & Segui, 1989 ; 1992). Son succès est inévitablement lié à l'expertise de Juan Segui et aux échanges nombreux et stimulants que chacun des membres de l'équipe a pu entretenir avec celui-ci au cours des 20 dernières années. C'est ainsi, pour rendre hommage à la carrière scientifique de notre ami et collègue que nous avons choisi dans ce chapitre, de résumer notre approche et discuter portées et limites de l'étude des mouvements des yeux pour la psycholinguistique.

Dans une première partie, nous étairons l'hypothèse d'une relative autonomie du guidage oculaire en regard des traitements cognitifs. Cet exposé décrira les régularités visuo-motrices auxquelles sont soumises les déplacements du regard ainsi que leurs répercussions sur l'efficacité de la lecture et la reconnaissance des mots. Dans une seconde partie, nous examinerons les biais associés à l'utilisation des différents indices du comportement oculaire qui sont supposés refléter les processus lexicaux, syntaxiques, et sémantiques. La troisième étape consistera à définir les limites de l'analyse des durées de fixation pour l'étude du déroulement temporel des processus cognitifs. Enfin, dans une dernière partie, nous avancerons, sur la base des caractéristiques de l'extraction des informations visuelles mises à jour par l'analyse du comportement oculaire pendant la lecture, quelques propositions de révision des modèles actuels de reconnaissance des mots.

Les régularités visuo-motrices et leurs répercussions sur la lecture.

Le fait le plus déconcertant pour un cognitiviste serait probablement l'observation d'une grande similitude du comportement oculaire en la présence ou l'absence de contenu cognitif. Telle est cependant une réalité qui peut être mise en évidence en substituant toutes les lettres d'un texte par la lettre 'z', et en demandant aux sujets de déplacer leur regard comme s'ils lisaient un texte (Vitu, O'Regan, Inhoff, & Topolski, 1995 ; Rayner & Fischer, 1996 ; voir aussi Yang & McConkie, 2001 ; 2004). Dans ces conditions, l'amplitude des saccades est très similaire à celle obtenue lors d'une lecture naturelle, ou lors de la recherche d'une lettre spécifique dans un texte normal. De plus, plusieurs des régularités visuo-motrices identifiées lors de la lecture de textes se retrouvent lors de ce que l'on peut appeler une lecture « aveugle ».

Les régularités visuo-motrices sous-jacentes à la lecture de textes sont relatives à l'influence exercée par des facteurs visuels et positionnels tels que la longueur des mots et la position des yeux et des mots sur la ligne de texte. Elles s'appliquent principalement au comportement inter-mot qui entraîne les yeux d'un mot vers un autre, bien qu'elles conditionnent aussi le mode d'exploration des mots fixés (ou comportement intra-mot). En règle générale, les yeux se déplacent d'un mot vers le suivant, le point d'arrivée des saccades dans un mot ou 'position préférée de regard' se situant légèrement à gauche du centre du mot (Dodge, 1907 ; Dunn-Rankin, 1978 ; Rayner, 1979). Il se produit néanmoins assez fréquemment que les yeux sautent un ou plusieurs mots. De plus, il existe une importante variabilité des points d'arrivée, la distribution des positions initiales de fixation couvrant l'ensemble du mot. Les facteurs responsables de la variabilité du comportement inter-mot sont au moins au nombre de trois : la longueur des mots (O'Regan, 1979 ; Rayner, 1979 ; Vitu, et al., 1995), le site de départ ou distance entre le point de départ de la saccade et le début du mot (McConkie, et al., 1988 ; Vitu, et al., 1995), et la position du mot sur la ligne de texte ou

sur l'écran d'ordinateur (Vitu, Kapoula, Lancelin & Lavigne, 2004 ; Vitu & McConkie, 2003). La longueur des mots affecte l'amplitude des saccades en favorisant le saut des mots courts et en augmentant la distance du point fixé au centre des mots longs. L'influence du site de départ se caractérise par une élévation de la proportion des sauts de mots ainsi qu'une tendance accrue à fixer initialement la fin des mots à mesure que la distance des mots au point de départ diminue. Enfin, selon si les mots se situent en début ou fin de ligne, ou encore selon s'ils sont positionnés dans la partie gauche ou droite de l'écran, les sauts de mots sont respectivement plus ou moins fréquents, et les points d'arrivée décalés vers la fin ou le début des mots. La nature exacte des mécanismes sous-jacents à ces effets qualifiés ici de régularités visuo-motrices a fait l'objet de plusieurs études et analyses (voir McConkie et al., 1988 ; Vitu, 1991a,c; Vitu, Kapoula, et al., 2004). Cependant, ce qui est au cœur des débats à l'heure actuelle, n'est pas tant l'existence ou l'origine des régularités visuo-motrices, mais plutôt la place qui leur est accordée dans la détermination du comportement inter-mot, ainsi que les répercussions de la variabilité des positions successives du regard sur le traitement des mots pendant la lecture.

Les partisans de l'hypothèse cognitive ne concèdent qu'une place mineure aux régularités visuo-motrices puisqu'ils les considèrent non pas comme le moteur principal des déplacements du regard, mais simplement comme le facteur responsable de la variabilité des points d'arrivée dans les mots (Reichle et al., 2003). La décision concernant la destination de la prochaine saccade, à savoir quel mot est prochainement fixé revient en priorité au traitement des mots en vision parafovéale. En accord avec cette hypothèse, les données de la littérature révèlent une influence des propriétés visuelles, orthographiques, lexicales, voire même syntaxico-sémantiques des mots sur la probabilité de les sauter. Cependant, les effets observés ne sont ni systématiques, ni comparables en amplitude aux effets des contraintes visuo-motrices qui constituent l'indice le plus fiable permettant de prédire la probabilité de

sauter un mot (voir, Brysbaert & Vitu, 1998 ; McConkie, et al., 1994 ; O'Regan, 1990 ; Vitu, 2003). De la même façon, la distribution des points d'arrivée dans les mots, bien que principalement fonction de facteurs visuo-moteurs, peut elle aussi être légèrement affectée par les caractéristiques linguistiques des mots (Lavigne, Vitu, & d'Ydewalle, 2000 ; Vitu, Lavigne, Lelandais, Ohana, & Lancelin, 2001; voir pour des résultats opposés, Rayner, Binder, Ashby & Pollatsek, 2001). Le traitement interviendrait donc non pas en tant que guide, mais plutôt comme régulateur d'une activité visuo-motrice définie par défaut et qui n'a pour objectif que d'entraîner les yeux vers l'avant indépendamment des frontières entre les unités lexicales (voir Vitu, 2003).

Un tel guidage bas-niveau du regard le long des lignes de textes constitue de toute évidence un premier facteur limitant pour l'utilisation des mouvements oculaires par le psycholinguiste. Les positionnements successifs des yeux ne peuvent en effet fournir un indice cognitif fiable, puisque ne reflétant pas directement l'avancée des processus de reconnaissance des mots en parafovée. De plus, le fait, comme nous allons le voir, que les contraintes visuo-motrices conditionnent en retour la nature des informations visuelles extraites et l'efficacité des processus d'identification des mots semble limiter d'autant plus la portée d'une analyse du comportement oculaire dans une perspective cognitive.

En premier lieu, les sauts de mots ont une incidence sur la nature, l'ordre et la vitesse à laquelle les informations sont extraites et traitées. Étant principalement le fruit de l'influence exercée par les contraintes visuo-motrices, ces événements peuvent difficilement être assimilés aux cas où le mot a été identifié au préalable en parafovée. Le traitement d'un mot sauté peut donc se poursuivre alors que les yeux fixent le mot suivant, voire même nécessiter l'exécution d'une saccade régressive, ce qui engendre inévitablement un coût temporel (Vitu & McConkie, 2000 ; Vitu, McConkie, & Zola, 1998). Le recours à de tels réajustements locaux est relativement fréquent puisqu'il occupe environ 45% et 52% de l'ensemble des saccades

régressives effectuées respectivement par les adultes et les enfants de 12 ans (Vitu, 1999b). Il est plus marqué chez les enfants probablement en raison d'un plus petit empan perceptif (Rayner, 1986) et de connaissances encore incertaines du langage.

Par ailleurs, la variabilité des positions initiales de fixation dans les mots qui incombe aussi principalement à l'influence exercée par les contraintes visuo-motrices a d'importantes retombées sur le comportement oculaire intra-mot et les processus d'identification des mots. Les tenants de l'hypothèse cognitive n'accordent que très peu d'importance à ce point, leurs données suggérant que l'efficacité de la lecture étant peu, voire pas du tout affectée par la position initialement atteinte dans un mot (Rayner, Sereno, & Raney, 1996; voir aussi Reichle et al., 2003). Des études menées lors de la reconnaissance de mots isolés et la lecture de textes, révèlent au contraire, que le positionnement initial des yeux dans un mot est un facteur critique qui a des répercussions multiples et complexes.

Le premier effet se caractérise par une variation de la probabilité de refixation, celle-ci augmentant à mesure que la position initiale de fixation s'éloigne du centre du mot (McConkie et al., 1988 ; O'Regan & Lévy-Schoen, 1987 ; Rayner, et al., 1996 ; Vitu, O'Regan, & Mittau, 1990 ; Vitu, et al., 2001). Ce phénomène dit de 'position optimale de regard' trouve son corrélat dans des expériences d'identification perceptive qui indiquent une diminution de la probabilité d'identification correcte d'un mot à mesure que la déviation initiale des yeux par rapport au centre du mot augmente (Brysbart, Vitu, & Schroyens, 1996 ; O'Regan, 1990). Il résulte principalement de la forte diminution de l'acuité visuelle avec l'excentricité, faisant du centre du mot, le point optimal pour l'extraction des informations visuelles contenues dans le mot (Stevens & Grainger, 2003 ; Nazir, Heller, & Sussman, 1992 ; Nazir, Jacobs, & O'Regan, 1998 ; Nazir, O'Regan, & Jacobs, 1991 ; McConkie et al., 1988). Ce phénomène semble cependant aussi associé aux contraintes orthographiques, les lettres extraites en premier lieu à partir du centre d'un mot (les deux lettres centrales, ainsi que la

première et la dernière lettre du mot) concordant avec un plus petit ensemble de candidats orthographiques que les autres combinaisons de lettres (Clark & O'Regan, 1999 ; voir pour une hypothèse alternative, Stevens & Grainger, 2003). L'origine perceptive voire orthographique du phénomène ne nous indique cependant pas si le pattern de refixations en fonction de la position initiale du regard est déterminé en temps réel par l'efficacité du traitement associé au mot fixé ou s'il résulte des expériences perceptives passées du lecteur (s'appuyant alors en temps réel sur le seul repérage de la position des yeux). Cette question, bien qu'ayant fait l'objet de plusieurs investigations reste toujours en suspend (voir O'Regan, 1990; Reilly & Radach, 2003 ; Vitu & O'Regan, 1995).

La seconde conséquence de la variabilité des positions initiales de fixation dans les mots se retrouve au niveau des durées des fixations individuelles. Elle montre que la durée de la première fixation sur un mot est maximale au centre du mot, et diminue à mesure que le regard s'éloigne de cette position (Engbert & Kliegl, 2003; Vitu, et al., 2001 ; voir aussi O'Regan & Lévy-Schoen, 1987). Cet effet est dit 'phénomène inversé de position optimale de regard' car il présente exactement la courbe inverse à celle que l'on pourrait prédire à partir de l'hypothèse cognitive qui rappelons-le, suppose que le temps de fixation augmente avec la difficulté du traitement. Le traitement perceptif d'un mot étant facilité lorsque les yeux sont positionnés au centre de celui-ci, le temps de fixation devrait être minimal et non maximal à cette position. Jusqu'à présent, nous n'avons pu identifier l'origine exacte de ce phénomène qui s'applique aussi à la reconnaissance des objets lors de l'exploration de scènes visuelles (Henderson, 1993). Il pourrait simplement résulter d'un temps plus long pour programmer une saccade ou désengager l'attention à partir d'une position centrale. Il pourrait aussi refléter des stratégies d'économie perceptive qui visent à prolonger le temps d'une fixation lorsque celle-ci se trouve à une position favorable pour l'extraction des informations visuelles et la reconnaissance des mots.

Le troisième type d'effet relatif à la position initiale de fixation s'applique au temps total de regard sur les mots (ou somme des durées de fixations individuelles sur le mot)², ainsi qu'aux temps de réaction mesurés dans des tâches de décision lexicale et de dénomination (O'Regan & Jacobs, 1992; O'Regan, Lévy-Schoen, Pynte & Brugailière, 1984; Vitu, et al., 1990). Il se caractérise par un temps minimal lorsque les yeux commencent par fixer le centre ou légèrement à gauche du centre d'un mot, et une augmentation de ce temps à mesure que la fixation initiale s'éloigne de la zone centrale. Ce phénomène mis en évidence initialement lors de la reconnaissance de mots isolés, se généralise aussi à la lecture de texte, bien que de façon affaiblie (Vitu, et al., 1990; voir aussi Rayner et al., 1996). A ce niveau, l'effet de la position initiale de fixation est un effet composite, et complexe, et mérite un examen plus approfondi³.

La mesure du temps total de regard sur un mot résulte de la combinaison du nombre de fixations effectuées sur le mot et de la durée des fixations individuelles. Or, comme nous l'avons vu précédemment, probabilité de refixation et durée de première fixation présentent des variations inverses en fonction de la position initiale de fixation : tandis qu'une refixation est peu probable lorsque les yeux sont positionnés initialement au centre d'un mot, la durée de la première fixation, qu'elle soit suivie ou non d'une refixation, est allongée dans ce cas précis. Par ailleurs, comme l'ont montré O'Regan et Lévy-Schoen (1987: voir aussi Vitu et al., 2001), plus le temps passé lors d'un premier arrêt sur le mot est long, plus la durée de la seconde fixation, lorsqu'elle a lieu sur le même mot, est courte. Dans le cas précis de deux fixations sur un mot, le temps total de regard ne présente par conséquent aucune variation selon la position de la fixation initiale. A l'inverse, un mot lu à l'aide d'une fixation unique, nécessitera un temps de fixation plus long lorsque les yeux seront initialement placés au centre du mot. Le comportement oculaire observé sur un ensemble de mots présentés de façon isolée ou en

² Le temps total de regard correspond au terme 'gaze duration' en anglais.

³ Cette réflexion a reposé d'une part sur les travaux effectués au sein de l'Equipe Regard, et d'autre part sur un modèle mathématique développé en collaboration avec G.W. McConkie, et présenté dans la version originale de l'article publié par Vitu et al. (2001).

contexte se situe entre ces deux extrêmes. Les mots isolés étant lus avec plus de difficulté que les mots en contexte, ils nécessitent plus fréquemment deux fixations consécutives (notamment s'ils sont fixés initialement par l'une de leur extrémité) et la courbe représentant le temps total de regard en fonction de la position initiale de fixation reproduit la tendance observée pour la probabilité de refixation, à savoir une courbe en 'U'. Pour les mots en contexte qui sont lus plus fréquemment à l'aide d'une seule fixation, le temps total de regard reproduit moins fidèlement les variations observées pour la probabilité de refixation, celles-ci étant atténuées par l'effet inversé de la position optimale pour les durées de fixation uniques. La forme exacte de la courbe représentant le temps total de regard est donc directement fonction de la proportion des cas de fixations uniques et de la concordance entre l'optimum des deux courbes composites (probabilité de refixation, et durées des fixations uniques). Elle peut ainsi prendre la forme d'une courbe en 'U' atténuée (voir Rayner, et al., 1986; Vitu, et al., 1990), ou toute autre variante entre courbe en 'U' et courbe en 'U' inversé.

En résumé, l'emplacement initial du regard dans les mots a des répercussions très marquées sur le comportement oculaire intra-mot et les performances de reconnaissance des mots, et cela même en situation de lecture de texte. Ces variations ne sont pas aléatoires, mais elles sont systématiques, et diffèrent selon le mode de lecture, l'expertise du lecteur, et la difficulté des mots et textes présentés. Il serait donc imprudent de vouloir se passer d'un contrôle de la position des yeux dans toute étude portant sur le langage écrit, et cela avec ou sans l'enregistrement des mouvements oculaires.

Les biais associés à l'utilisation du comportement oculaire comme indice des processus cognitifs.

De nombreuses mesures peuvent être dérivées des trois paramètres de base décrivant le comportement oculaire pendant la lecture, à savoir amplitude et direction des saccades et

durées des fixations. La proportion des sauts de mots lors du déplacement vers l'avant, la distribution des positions initiales de fixation, la proportion des saccades régressives et le lieu d'atterrissage de ces dernières constituent une première série d'indices relatant le parcours du regard le long des lignes de texte. Outre la proportion et le lieu d'arrivée des saccades régressives, ces mesures sont rarement rapportées par les psycholinguistes. Les mesures les plus communément utilisées sont des variables temporelles allant de la durée de la première fixation au temps total d'exploration sur un mot ou groupe de mots (voir pour des revues critiques, Inhoff, & Radach, 1998 ; Liversedge, Paterson & Pickering, 1998 ; Rayner, 1998). Le temps total de regard ('gaze duration' et 'first-pass reading time' en anglais) additionne les durées des fixations effectuées sur une zone de texte donnée lors d'un premier passage du regard dans la zone, alors que le temps total d'exploration ('total viewing duration' ou 'total reading time' en anglais) cumule les durées de toutes les fixations faites dans une zone donnée et sur l'ensemble des passages du regard sur la zone. Dans les cas particuliers qui favorisent l'exécution de saccades régressives, plusieurs indices relatifs au temps de relecture peuvent aussi être mesurés, sommant alors les durées des fixations effectuées suite à une saccade régressive générée à partir d'un point précis de la phrase et avant que les yeux franchissent à nouveau ce point par un mouvement vers l'avant. L'ensemble de ces mesures temporelles repose sur deux postulats énoncés initialement par Just et Carpenter (1980). Le premier suppose une relation directe entre œil et esprit ('eye-mind assumption') ou encore entre mot fixé et mot traité, le second (ou 'immediacy assumption') envisage une correspondance parfaite entre le temps passé en un point du texte et le temps nécessaire pour traiter l'unité lexicale regardée.

Les deux postulats qui justifient l'utilisation des mouvements des yeux comme indices des processus cognitifs ne reflètent cependant pas la réalité du comportement oculaire. Tout d'abord, comme nous l'avons vu précédemment, les yeux ne sont pas directement guidés par

l'esprit, et leurs déplacements ne reproduisent pas fidèlement l'avancée des processus cognitifs associés aux informations rencontrées. Du fait de la forte influence des contraintes visuo-motrices, les mots sautés n'ont pour la plupart pas été identifiés au préalable. De même, la position du regard dans un mot n'est que très légèrement corrélée au traitement préalable de ce mot en périphérie. D'autre part, il est risqué de vouloir confondre mot fixé et mot traité, ou encore d'associer temps de fixation et temps de traitement. Bien évidemment, le positionnement des yeux sur un mot facilite en premier lieu l'extraction des informations visuelles relatives à ce mot, mais il ne constitue en aucun cas une condition suffisante pour un traitement obligatoire et sélectif du mot fixé. Premièrement, l'observation d'effets dits de 'spillover' montre que les yeux peuvent quitter précocement un mot, alors qu'il n'a pas encore été identifié (Kennison & Clifton, 1995 ; Schroyens, Vitu, Brysbaert & d'Ydewalle, 1999). Dans ces cas particuliers, le temps de fixation (durée de première fixation et/ou temps total de regard) est amputé d'une partie du temps nécessaire au traitement du mot fixé, alors que le temps passé sur le mot suivant est contaminé par cette dernière. Par ailleurs, la possibilité d'extraire au moins les premières lettres d'un mot en périphérie, permet d'engager un pré-traitement de ce mot (voir des revues de question, Rayner, 1998 ; Vitu, 1991b). Le temps total de regard sur un mot inclut le pré-traitement, mais il ne s'agit pas du pré-traitement effectué au préalable sur ce mot, mais du pré-traitement des informations relatives au mot suivant. Cet amalgame ne biaise-t-il pas dans une certaine mesure l'estimation de la durée nécessaire pour l'identification du mot fixé ? Dans le cadre d'une perspective cognitiviste qui envisage un traitement massivement sériel, la question du pré-traitement est un faux problème (voir Reichle, et al., 2003). Le traitement des informations parafovéales est supposé commencer uniquement après l'identification du mot fixé et pour une durée très brève et relativement constante. Le temps dédié au pré-traitement est donc comparable d'un mot à l'autre. A l'heure actuelle, cependant, les arguments supportant l'hypothèse sérielle sont relativement maigres,

et on lui préfère l'hypothèse d'un traitement parallèle des informations fovéales et parafovéales (voir Engbert, Longtin & Kliegl, 2002 ; Inhoff, Radach, Starr, & Greenberg, 2000; Inhoff, Starr, & Shindler, 2000; Reilly & Radach, 2004 ; Schroyens, et al., 1999 ; Vitu, Brysbaert, & Lancelin, 2004). Premièrement, le plus grand bénéfice tiré du pré-traitement parafovéal d'un mot lors de durées de fixation prolongées indique que le pré-traitement n'a pas une durée fixe. D'autre part, l'observation d'une influence des caractéristiques du mot parafovéal sur le temps de fixation montre que l'efficacité de la lecture d'un mot peut être modulée par les informations parafovéales, argumentant ainsi contre l'hypothèse d'un traitement sériel et sélectif, et suggérant qu'un biais supplémentaire réside dans l'utilisation du temps total de regard comme mesure du temps de traitement associé au mot fixé.

Les limitations nombreuses qui s'appliquent au temps total de regard sur un mot se généralisent aux mesures plus globales faites à l'échelle du segment de phrase et non du mot, mais cela dans une moindre mesure. En cumulant le temps passé sur plusieurs mots adjacents, les problèmes de 'spillover' et de prétraitement parafovéal sont d'une certaine manière neutralisés à l'exception de ceux relatifs aux bornes de la zone de texte analysée. Doit-on pour autant privilégier l'utilisation de telles mesures ? La réponse est évidemment 'non' ! En effet, plus le niveau d'analyse est global, plus les variations locales inhérentes aux contraintes visuo-motrices risquent d'être négligées et malencontreusement attribuées à des variations cognitives relatives au traitement des mots. Ce point est d'autant plus critique lorsque la comparaison du comportement oculaire porte sur deux phrases différant par la présence ou l'absence d'un ou plusieurs mots courts, ce qui est relativement fréquent dans le cadre d'expériences portant sur les processus syntaxiques (voir par exemple, Liversedge et al., 1998). Comme le soulignent Trueswell, Tanenhaus et Kello (1993), la plus forte probabilité de saut associée aux mots courts peut entraîner un positionnement différent des yeux sur la ligne de texte et produire de ce fait des variations du temps de fixation dans la zone de texte critique

qui sont uniquement dues au nombre de fixations et/ou aux contraintes perceptives associées à l'emplacement du regard. De plus, il n'est pas exclu que l'élévation du nombre de mots sautés favorise en retour l'exécution de saccades régressives et engendrent ainsi un coût temporel (Vitu, et al., 1998).

En conclusion, quels que soient la question posée et le niveau d'analyse nécessité, un examen détaillé de l'activité oculaire locale est recommandé. Celui-ci peut s'avérer relativement complexe car pour s'assurer que les différences observées entre les différentes conditions n'est pas simplement le résultat de processus visuo-moteurs, il faudra s'assurer que le parcours oculaire précédant et caractérisant la zone de texte critique est similaire entre les conditions. Une attention toute particulière sera donnée aux sauts de mots, et aux saccades régressives correspondantes, ainsi qu'à la distribution des points d'arrêt du regard à l'intérieur et dans le voisinage des mots critiques. Pour l'étude des procédures d'accès au lexique, l'étude du comportement oculaire sur des mots présentés isolément semble plus appropriée, celle-ci permettant d'éviter ou même de contrôler de façon plus précise, les biais associés aux problèmes de spillover et de prétraitement (voir pour un exemple, Schroyens, et al., 1999). Enfin, il faudra, en règle générale, se garder de toute conclusion tendant à vouloir assimiler de trop près temps de fixation et temps de traitement.

Notre conclusion, bien que sévère, ne prétend pas, évidemment, remettre en cause l'ensemble des hypothèses tirées, notamment dans le domaine de la syntaxe, à partir de l'analyse du comportement oculaire lors de la lecture de phrases. Cependant, au vu des déclarations faites récemment par l'un des protagonistes d'une telle approche, nos recommandations semblent justifiées, voire même trop généreuses. A la dernière conférence européenne sur les mouvements des yeux, en août 2003, Clifton annonce en effet, que les mouvements des yeux ne sont que très faiblement corrélés aux processus linguistiques autres

que les processus lexicaux, les effets observés sur les moyennes ne survenant selon lui que dans quelques cas particuliers et minoritaires.

Durées de fixations et décours temporel des processus cognitifs.

Pendant les vingt dernières années, la méthode d'enregistrement des mouvements des yeux a connu un véritable succès dans le domaine de la syntaxe, alors que, comme nous l'avons vu, cette approche est discutable et semée d'embûches. En revanche, l'étude du comportement oculaire lors de la reconnaissance des mots compte peu de nouveaux adeptes parmi les psycholinguistes, celle-ci étant restée un sujet propre au domaine de la lecture et de l'oculomotricité. La réplication, par l'analyse du comportement oculaire, d'un certain nombre de phénomènes mis en évidence initialement à l'aide de tâches de lecture simplifiée n'est probablement pas étrangère à cet état de fait. Pourquoi chercher à évoluer vers des techniques plus complexes et plus coûteuses, lorsque des facteurs clés tels que la fréquence d'occurrence des mots ou la fréquence de voisinage produisent des effets comparables sur le temps total de regard sur un mot, la latence de dénomination, et dans une certaine mesure le temps de décision lexicale (Holmes & O'Regan, 1987 ; Grainger, et al., 1989 ; O'Regan & Lévy-Schoen, 1987 ; Schilling, Rayner, & Chumbley, 1998 ; Sereno & Rayner, 2003 ; voir aussi Perea & Pollatsek, 1998) ? Pourquoi abandonner la technique d'amorçage en mot isolé alors qu'elle donne lieu à des résultats relativement similaires en lecture naturelle (Lee, Rayner, & Pollatsek, 1999; Rayner, Sereno, Lesch, & Pollatsek, 1995) ? Le gain en terme de naturalité prévaut-il sur la possibilité offerte par la lecture de mots isolés de contrôler plus finement un certain nombre de facteurs? Pour bon nombre d'auteurs, la réponse est simple. Les mouvements oculaires fournissent en temps réel des indices qui mettent à jour le décours temporel des processus associés à la reconnaissance des mots (voir par exemple, Perea & Pollatsek, 1998 ; Rayner, 1998).

La question de la temporalité des processus est effectivement l'une des préoccupations centrale à la psycholinguistique. A l'heure actuelle, si les auteurs s'entendent sur l'intervention de plusieurs facteurs critiques dans la reconnaissance des mots, les avis divergent quant à la nature des processus sous-jacents et au locus des effets observés (voir pour une revue de question, Ferrand, 2001). Pour l'effet de la fréquence d'occurrence, le débat remonte à 1984, lorsque Balota & Chumbley proposent l'idée selon laquelle, l'effet de la fréquence est un effet post-lexical. Bien que cette question soit aujourd'hui résolue et que l'on admette que la fréquence joue à un niveau lexical, la question reste ouverte de savoir si ce facteur intervient précocement lors de l'encodage perceptif, ou plus tardivement lors de l'étape de reconnaissance proprement dite (voir Jacobs, 2000).

Pour chaque mot fixé en lecture naturelle, les mouvements des yeux livrent un certain nombre de mesures hiérarchisées qui semblent refléter l'avancement des processus liés à la reconnaissance des mots. La probabilité de refixation, la durée de première fixation et le temps total de regard sur le mot, le temps de première fixation sur le mot suivant, et la probabilité d'une relecture ultérieure du mot, sont autant d'indices qui s'enchaînent dans le temps, et s'apparentent au traitement des mots. Cependant, ces indices peuvent être trompeurs. Comme nous l'avons développé ci-dessus, le guidage oculaire étant principalement régi par des processus visuo-moteurs, un lien direct ne peut être établi entre activité oculaire et processus cognitifs. De plus, notre méconnaissance du déroulement temporel des processus visuo-moteurs en relation avec les processus cognitifs liés au traitement des mots, nous interdit l'usage de telle ou telle autre variable dépendante comme indice du niveau de traitement atteint (voir McConkie & Dyre, 2000). Rappelons à titre d'exemples, le fait que nous ne savons toujours pas à quelle étape du traitement survient une refixation intra-mot, dans quelle mesure un mot est identifié lorsque les yeux le quittent, ou encore quel niveau de traitement est atteint lorsqu'un mot au préalable en vision parafovéale vient à être fixé. Comme le note

Grainger (2000), pour parvenir à définir le moment auquel telle ou telle autre information est prise en compte, il faut réussir à mettre en correspondance le décours temporel des processus cognitifs et décisionnels. Or, des processus décisionnels sont présents aussi bien en décision lexicale, ou dénomination, qu'en lecture naturelle. Chaque déplacement du regard nécessite au préalable de déterminer où et quand les yeux bougeront.

En dépit de ces limitations, les mouvements oculaires offrent néanmoins la possibilité de repérer parallèlement à l'activité de lecture l'intervention de tel ou tel autre facteur, et de définir la fenêtre temporelle dans laquelle ces facteurs peuvent influencer le comportement oculaire. Bien que la mesure des temps de réaction en décision lexicale ou dénomination puisse aussi nous fournir des indices temporels, ceux-ci, mesurés après la lecture, sont inévitablement moins fins. En effet, tandis que les temps de réaction mesurés dans de telles situations expérimentales ne descendent pas en deçà des 400ms, les durées de fixation sont en moyenne de l'ordre de 250ms, et varient entre 50 et 500ms. Une revue de question sur les effets de fréquence en lecture naturelle indique que ceux-ci se traduisent par des variations moyennes du temps total de regard sur les mots, ainsi que des durées de premières fixations, et cela quel que soit le pattern oculaire (1 seule fixation ou deux fixations consécutives sur le mot). Les données révèlent notamment que la fréquence peut affecter des durées moyennes de première fixation de seulement environ 230ms (voir Vitu, 2001). Ces données moyennes, bien que suggérant une intervention précoce de la fréquence, ne précisent cependant pas le moment auquel la fréquence est prise en compte par le système.

En appliquant une méthode soustractive (voir Donders, 1969) par laquelle ils ôtent le temps moyen de programmation des saccades à la durée moyenne des premières fixations (qu'elles soient ou non suivies d'une refixation), Sereno & Rayner (2003) déduisent que les effets de fréquence émergent approximativement dans une fenêtre de 150 ms suivant le début d'une fixation. Ce raisonnement trop simpliste ne colle cependant pas à la réalité des

processus mis en jeu pendant une fixation, et notamment néglige la possibilité évoquée par Deubel, et al. (2000) d'un chevauchement entre les étapes de programmation des saccades et de traitement des informations visuelles et lexicales. Pour parvenir à décrire le déroulement temporel des effets de fréquence en rapport avec l'activité oculaire, la représentation de la distribution des durées de fixation semble plus appropriée. Celle-ci révèle qu'en lecture naturelle, les effets de fréquence n'émergent pas avant 175-200 ms suivant le début de la fixation (voir Vitu, et al., 2001). Encore une fois, il est important de noter qu'il ne s'agit pas d'une estimation absolue du moment auquel la fréquence intervient lors de la reconnaissance d'un mot, mais qu'il s'agit uniquement d'une estimation relative à l'activité oculaire sous-jacente. Comme explicité par Yang et McConkie (2004 ; 2001 ; voir aussi, Findlay & Walker, 1999 ; McConkie & Dyre, 2000), le système met en place, lors de la lecture ou toute autre activité perceptive, une routine qui génère des saccades à intervalles relativement réguliers et autonomes, c'est-à-dire indépendamment des informations visuelles et lexicales rencontrées. La seule façon par laquelle, des facteurs visuels ou cognitifs peuvent venir influencer cette 'rythmique', est sous forme d'inhibition, c'est-à-dire en supprimant et retardant la survenue d'une saccade dite 'normale'. Or, l'inhibition associée aux processus de traitement des informations textuelles ne peut survenir avant un délai de 175ms suivant le début de la fixation, et s'il s'agit d'information lexicale, le délai semble plutôt de l'ordre de 200ms.

Il semble donc que l'examen, par l'étude du comportement oculaire, du déroulement temporel des processus perceptifs et lexicaux soit possible, mais limitée par le mode de fonctionnement propre du système oculomoteur. Il reste maintenant à déterminer dans quelles mesures ces limitations restreignent l'étude de la temporalité des différents effets mis en évidence en psycholinguistique. Il est certain que la mesure des potentiels évoqués est une autre alternative pour ce type de question (voir Sereno & Rayner, 2003), mais elle reste une

technique relativement lourde, même en comparaison avec la technique d'enregistrement des mouvements des yeux.

Identifier les étapes précoces de la reconnaissance des mots par l'analyse du comportement oculaire.

Si l'éventualité selon laquelle l'enregistrement du comportement oculaire peut nous éclairer sur le déroulement temporel des processus cognitifs mériterait d'être plus approfondie, l'apport de cette méthodologie pour l'étude des étapes précoces de la reconnaissance des mots est indiscutable. L'activité oculaire est en effet la source même des processus d'extraction des informations visuelles sur lesquels reposent les étapes ultérieures d'accès aux représentations lexicales. Une analyse fine des positionnements successifs du regard et de la dynamique oculaire à l'intérieur des mots nous renseigne sur ces processus et c'est dans cette voie que l'étude du comportement oculaire pendant la lecture nous semble la plus prometteuse et la plus éclairante pour le psycholinguiste.

Dans le domaine de la reconnaissance des mots écrits, plusieurs modèles ont été proposés pour décrire les différentes étapes du traitement, allant de l'extraction des traits et des lettres jusqu'à l'activation d'une représentation lexicale en mémoire (voir pour une revue de question, Ferrand, 2001). Dans ce cadre, l'ensemble des processus repose sur une entrée visuelle unique se caractérisant par une activation équivalente et simultanée de chacun des traits et des lettres du mot présenté. Cette entrée, disponible tout au long de l'exposition du mot, présente cependant une certaine dynamique qui se traduit d'une part par un affinement des traitements visuels au cours du temps et d'autre part, tout au moins dans certains modèles, par une modification (par rétroaction) du pattern d'activation initial en fonction des processus lexicaux (voir McClelland & Rumelhart, 1981; Grainger & Jacobs, 1994). A cette vue, justifiée par un souci de simplicité, s'oppose une conception plus écologique et plus

dynamique, qui prend en compte les caractéristiques de l'extraction des informations visuelles et celles du déplacement du regard lors de la lecture. Cette dernière repose sur une activation différentielle des lettres en fonction de la position initiale du regard, et sur la possibilité d'entrée visuelles multiples. Curieusement, et malgré les recommandations faites dans de nombreux articles (voir par exemple, O'Regan & Jacobs, 1992), les modèles proposés en psycholinguistique n'ont pas évolué dans cette direction. Quelques tentatives sont à noter parmi les premiers modèles connexionnistes, mais elles n'ont jamais été reprises ou développées, et restent discutables sur plusieurs points (voir McClelland & Rumelhart, 1986; Rumelhart & McClelland, 1982). Le domaine de la lecture et de l'oculomotricité connaît quant à lui depuis plusieurs années, l'émergence d'un certain nombre de modèles qui s'inscrivent plus ou moins dans cette perspective (Engbert, et al., 2002; Reilly & Radach, 2003; Reichle et al., 2003 ; voir aussi, Yang & McConkie, 2001 ; Yang & McConkie, 2004). Cependant, si chacun à sa façon, accorde une place aux processus visuo-moteurs, les postulats concernant l'accès aux représentations lexicales sont peu plausibles dans la plupart des modèles (voir Jacobs, 2000). De plus, étant données la complexité et la multitude des processus intervenant en lecture naturelle, l'entreprise pourrait se révéler très rapidement trop ambitieuse et nécessiter le retour dans un premier temps à la modélisation des processus intervenant dans des situations de lecture simplifiées. C'est cette éventualité que nous envisageons ici, en proposant quelques solutions pour intégrer progressivement processus visuels et oculomoteurs aux modèles actuels de reconnaissance des mots.

Le premier postulat sur lequel reposent les modèles actuels de reconnaissance des mots envisage une contribution identique de chacune des lettres des mots pour l'accès aux représentations lexicales. Ce postulat, bien que probablement approprié dans une certaine mesure, aux mots de 4 lettres qui sont utilisés dans la plupart des modèles implémentés (voir O'Regan & Jacobs, 1992), est largement discutable d'un point de vue physiologique et

comportemental. En effet, la non-homogénéité de la rétine entraîne une baisse importante de l'acuité visuelle à mesure que l'on s'éloigne du centre de la fovéa, et cela d'autant plus pour les stimuli qui sont flanqués d'autres stimuli (Bouma, 1970; Levi, Klein, & Aitsebaomo, 1985). La visibilité des lettres d'un mot est par conséquent fonction de l'emplacement du regard dans le mot (McConkie, et al., 1989; Nazir et al., 1991; Nazir, et al., 1992; Stevens & Grainger, 2003). Comme nous l'avons noté ci-dessus, ces contraintes ne sont pas sans répercussions sur la reconnaissance des mots puisque selon le positionnement initial des yeux dans un mot, le mot sera plus ou moins rapidement identifié (O'Regan & Jacobs, 1992; O'Regan, et al., 1984; Vitu, et al., 1990). A titre d'exemple, lorsque la première fixation se situe au centre d'un mot, ou légèrement à gauche de cette position, le temps de décision lexicale est d'environ 20ms plus court que lorsque la fixation initiale est déviée d'une seule lettre à droite ou à gauche de la position optimale.

De toute évidence, si l'emplacement initial du regard dans un mot produisait uniquement des variations au niveau du temps de reconnaissance sans modifier la nature ou le déroulement temporel des processus permettant l'accès aux représentations lexicales, le facteur visibilité des lettres pourrait, dans une certaine mesure, être négligé. Or, à cette heure, nous n'avons aucune évidence en faveur de ce postulat, et plusieurs données suggèrent le contraire. Il faut admettre que les quelques expériences ayant testé l'influence de facteurs tels que la fréquence d'occurrence des mots sur le phénomène de position optimale révèlent une tendance pour un effet plus marqué pour les mots rares en comparaison avec les mots plus fréquents, mais cette tendance est faible et significative seulement en décision lexicale (O'Regan & Jacobs, 1992 ; O'Regan & Lévy-Schoen, 1987). Cependant, l'on ne peut réduire les processus d'accès au lexique au simple effet de la fréquence d'occurrence des mots. Comme l'ont révélé un certain nombre d'études, le facteur critique pour l'identification d'un mot n'est pas sa fréquence d'occurrence, mais plutôt sa fréquence de voisinage ou encore la présence ou

l'absence dans son voisinage orthographique de candidats de plus haute fréquence (Grainger, 1990 ; Grainger, et al., 1989). Or, l'emplacement du regard dans un mot et notamment la distance du point fixé à la lettre critique (celle qui permet de différencier le mot de son voisin orthographique plus fréquent) tend à affecter l'amplitude des effets de fréquence de voisinage (Grainger, et al., 1992 ; voir aussi Vitu, Brysbaert, et al., 2004). De la même façon, comme le suggèrent les calculs effectués par Clark et O'Regan (1999 ; voir aussi Stevens & Grainger, 2003), la position initiale des yeux, en renforçant la visibilité de certaines lettres, conditionne le nombre de candidats orthographiques potentiels : plus les yeux sont proches du centre du mot, plus le nombre de candidats est faible. Enfin, l'analyse du comportement oculaire sur les mots révèle une forte influence de l'emplacement initial du regard dans un mot sur la durée de la première fixation, suggérant ainsi que le temps pendant lequel le système est exposé à une entrée visuelle donnée est variable (O'Regan & Lévy-Schoen, 1987 ; Vitu, et al., 2001). Plus la fixation initiale est éloignée du centre du mot (ou d'une position légèrement à gauche ou à droite du centre), plus ce temps est court. Or, la durée d'exposition d'un mot influence non seulement la probabilité d'identification correcte du mot (Brysbaert, et al., 1996), mais elle affecte aussi, comme indiqué dans plusieurs expériences d'amorçage, le pattern d'activation des unités lexicales, et par conséquent l'efficacité avec laquelle un mot peut être différencié de ses voisins orthographiques ou phonologiques (Ferrand & Grainger, 1992 ; Segui & Grainger, 1990). L'ensemble de ces arguments suggère donc assez clairement que la modélisation des processus de reconnaissance des mots peut difficilement se passer de l'introduction d'une fonction caractérisant la visibilité des lettres dans un mot.

La prise en compte du facteur visibilité des lettres peut prendre plusieurs formes (voir McClelland & Rumelhart, 1986; O'Regan & Jacobs, 1992; Rumelhart & McClelland, 1982). La plus simple consiste à insérer une fonction par laquelle la visibilité des lettres diminue de part et d'autre du centre du mot, mais dans une moindre mesure pour les lettres initiale et

finale. Cette approche comporte néanmoins deux inconvénients. Tout d'abord, comme le soulignent O'Regan & Jacobs (1992), une telle simplification, bien que paraissant suffisante pour rendre compte des contraintes visuelles s'appliquant à la reconnaissance d'un mot isolé présenté en vision fovéale (comme dans les tâches de dénomination ou de décision lexicale), peut conduire à négliger le rôle d'un certain nombre de facteurs. En effet, le centre du mot ne correspond pas systématiquement à la position optimale de regard. L'emplacement exact de celle-ci et par conséquent la forme exacte de la courbe de visibilité sont fonction non seulement de la longueur du mot, mais aussi de sa structure morphologique ou informationnelle, et en lecture naturelle de la possibilité d'un pré-traitement parafovéal des premières lettres du mot (Farid & Grainger, 1996 ; Holmes & O'Regan, 1987 ; O'Regan & Jacobs, 1992 ; Vitu et al., 1990). De plus, des contraintes attentionnelles associées aux habitudes de lecture peuvent donner un poids plus important au début des mots (Rumelhart & McClelland, 1982 ; voir aussi Fischer, 2000). Une fonction de visibilité modulable en fonction des propriétés visuelles et lexicales des mots et éventuellement de facteurs attentionnels semble donc plus appropriée.

D'autre part, si la modélisation des processus associés à la reconnaissance des mots se veut refléter ce qui se produit en lecture naturelle, elle ne saurait se contenter d'une fonction réductionniste qui envisage un seul et unique point de visibilité maximale et cela quelle que soit la longueur des mots. En lecture naturelle, il existe une importante variabilité des positions initiales de fixation dans les mots ou dans leur entourage et le centre des mots ne correspond pas systématiquement au site préférentiel d'arrivée (O'Regan, 1979; Rayner, 1979; Vitu, et al., 1995; Vitu et al., 1990; Vitu et al., 2001). Les mots courts d'une longueur de 4 lettres ont une probabilité quasiment égale d'être sautés ou fixés (dans environ 43% et 47% des cas respectivement d'après les données de Vitu et al., 1995) et s'ils sont fixés ils le sont principalement par leur fin (Vitu, et al., 2001). Ces mots sont donc traités soit en vision

parafovéale, soit en fovéa, auxquels cas l'optimum de la fonction décrivant la visibilité des lettres du mot correspond soit au début, soit à la fin du mot. En ce qui concerne la position préférée de première fixation sur les mots longs, celle-ci est d'autant plus à gauche du centre du mot que la longueur du mot augmente, décalant par là même le point de visibilité maximale dans le mot. Il semble donc que la longueur des mots intervienne en premier lieu pour définir quelles lettres sont traitées en priorité et sous quel point de vue le mot est le plus fréquemment identifié. Afin de prendre en compte ces variations, l'on peut alors envisager de modéliser les processus d'extraction visuelle en considérant initialement comme point de visibilité maximale non pas le centre du mot, mais la lettre ou la zone du mot correspondant au site préférentiel de première fixation. Une telle approche paraît d'autant plus justifiée si l'on adhère à l'hypothèse proposée par Nazir (2000) selon laquelle, la distribution des positions initiales de fixation conditionne l'apprentissage des mots, et est à l'origine du phénomène de position optimale de regard dans les mots.

Le second postulat commun aux différents modèles de reconnaissance des mots et selon lequel les processus lexicaux reposent sur une entrée visuelle unique se démarque aussi de la dynamique du comportement oculaire. En lecture naturelle, rares sont les mots dont les lettres sont extraites à l'aide d'une fixation unique. L'amplitude moyenne des saccades étant d'environ 7-8 caractères, les mots initialement fixés dans leur partie centrale se retrouvent au préalable dans les limites de l'empan perceptif (voir pour des revues de question, O'Regan, 1990; Rayner, 1998) et bénéficient par conséquent d'un prétraitement parafovéal de leurs premières lettres avant d'être fixés (Inhoff, 1989; Lima & Inhoff, 1985; Vitu, et al., 1990; voir pour l'aspect modélisation, Rumelhart & McClelland, 1986). Par ailleurs, lorsque la fixation initiale se retrouve au tout début ou à la fin d'un mot, celui-ci est fréquemment lu à l'aide de deux fixations consécutives qui vont chacune permettre l'extraction d'une série de lettres donnée (McConkie, et al., 1989; Rayner, et al., 1996; Vitu, et al., 2001; Vitu, et al., 1990). La

visibilité relative des lettres d'un mot varie donc au cours du temps. Le changement produit au niveau du pattern d'activation dépend en premier lieu de la position initiale des yeux dans l'entourage du mot, mais il dépend aussi de la longueur du mot. Ces deux facteurs affectent en effet la probabilité d'une entrée visuelle double, et le degré de chevauchement entre les deux entrées visuelles (O'Regan & Lévy-Schoen, 1987 ; Vitu, 1991b ; Vitu, et al., 2001 ; Vitu & O'Regan, 1989 ; Vitu, et al., 1990). Les propriétés lexicales du mot interviennent aussi puisqu'elles influencent le niveau de traitement achevé en vision parafovéale (Inhoff & Rayner, 1986; Schroyens, et al., 1999 ; Vitu, 1991b), la probabilité de refixation (McConkie et al., 1989 ; Vitu, 1991b) et dans une certaine mesure l'amplitude des saccades de refixation (Pynte, 1996). A l'heure actuelle, un certain nombre de questions restent ouvertes qui limitent de façon évidente, une modélisation des processus de reconnaissance des mots sur la base d'entrées visuelles multiples. Notamment, bien que l'on sache que les refixations intra-mots sont le fruit à la fois des contraintes visuo-motrices et des contraintes lexicales associées au traitement du mot fixé, il n'est pas encore clair dans quelles proportions ces deux types de refixations surviennent et si elles ont un déroulement temporel différent (voir pour des vues opposées, Engbert, et al., 2002 ; Reichle, et al., 2003 ; Reilly & Radach, 2003). De plus, il reste à déterminer quelle étape de traitement est critique pour la survenue d'une refixation. De telles questions mériteront une approche conjointe des psycholinguistes et des chercheurs intéressés par la lecture et l'oculomotricité.

Enfin, il est important de noter que la modélisation des processus de reconnaissance des mots repose implicitement sur le postulat que seules les informations relatives au mot fixé contribuent à l'activation de la représentation lexicale correspondante. Ce postulat qui se rapproche de l'hypothèse d'un traitement sériel des mots en lecture naturelle (Reichle et al., 2003) est néanmoins très contesté à l'heure actuelle (Engbert, et al., 2002 ; Inhoff, Radach, et al., 2000; Inhoff, Starr, et al., 2000; voir aussi, Rumelhart & McClelland, 1986; Schroyens, et

al., 1999). Plusieurs études montrent que le temps de fixation sur un mot tend à varier en fonction des propriétés visuelles, orthographiques et lexicales du mot parafovéal, suggérant un traitement parallèle et non sélectif des informations fovéales et parafovéales (voir pour une revue de question, Vitu, Brysbaert, et al., 2004). De toute évidence, l'un des facteurs limitant est l'acuité visuelle, ou l'excentricité du mot parafovéal par rapport au point fixé. Ce facteur qui s'opérationnalise en terme de position du regard dans le mot fixé et de longueur de mot (fovéal et parafovéal), définit la visibilité des lettres du mot parafovéal et contribue à déterminer le degré de facilitation ou d'interférence du mot parafovéal sur le mot fixé. Or, comme nous l'avons noté ci-dessus, il arrive fréquemment en lecture naturelle que le mot à droite du mot fixé se situe dans les limites de l'empan perceptif. La modélisation des processus impliqués dans la reconnaissance des mots peut donc difficilement se passer d'une étude plus approfondie des interactions entre informations fovéale et parafovéale. Une telle approche peut par ailleurs nous renseigner sur le codage de la position des lettres dans les mots et nous ouvrir sur des questions plus générales. Jusqu'à maintenant, le débat a été principalement centré sur la possibilité d'un codage absolu en opposition avec un codage relatif de la position des lettres à l'intérieur d'un mot (voir pour une revue de questions, Grainger & van Heuven, sous presse). Qu'en est-il pour les lettres appartenant à des mots différents ? Les quelques résultats montrant une réduction du temps de fixation sur un mot lorsqu'il est présenté simultanément avec un mot similaire orthographiquement ne suggèrent-ils pas l'impossibilité d'un codage absolu de la position des lettres (Vitu, Brysbaert, et al., 2004 ; voir aussi, Mozer, 1983) ? Par ailleurs, est-ce que le système encode aussi la position des mots, ou se suffit-il de la suprématie des informations fovéales et du fait que le mot fixé est plus fréquemment identifié en priorité, pour ordonner les mots en lecture naturelle ?

En conclusion, il apparaît que la modélisation des processus intervenant dans la reconnaissance des mots bénéficierait de la prise en compte d'un certain nombre de

contraintes propres à la lecture naturelle. Celles-ci sont principalement relatives aux processus d'extraction des informations visuelles sur lesquels reposent l'accès aux représentations lexicales. Elles préconisent l'introduction d'un facteur de visibilité pour simuler la contribution différentielle de chacune des lettres du mot traité au pattern d'activation initial, et d'une dynamique temporelle visant à reproduire l'enchaînement des entrées visuelles qui découle de l'activité oculaire. Par ailleurs, la possibilité d'un traitement parallèle des informations fovéales et parafovéales suggère la nécessité d'évoluer vers des paradigmes de lecture de couples de mots. Dans l'ensemble des révisions proposées, la position du regard et la longueur des mots jouent un rôle prédominant. Le rôle de la longueur des mots a longtemps été débattu en psycholinguistique, et ce facteur reste absent dans la plupart des modèles actuels de reconnaissance des mots (voir pour des revues de question, O'Regan & Jacobs, 1992; Vitu, 1990). La longueur des mots est aussi négligée dans bon nombre d'études portant sur le comportement oculaire pendant la lecture où elle est en fait encore trop souvent confondue avec le facteur fréquence (voir Brysbaert & Drieghe, 2003). Or, les données résumées ci-dessus indiquent que ce facteur intervient en premier lieu en affectant les caractéristiques de l'entrée visuelle initiale et la probabilité d'entrées visuelles multiples, ainsi qu'en modulant les possibilités d'interactions entre mot fovéal et parafovéal.

Conclusion.

Dans la lignée des travaux que nous avons menés dès les années 80, et en accord avec les évolutions récentes dans le domaine des mouvements oculaires pendant la lecture, nous avons favorisé l'hypothèse selon laquelle la lecture est avant tout un acte perceptivo-moteur et a-cognitif. Les déplacements du regard qui caractérisent la lecture sont principalement l'expression de processus visuo-moteurs, qui affectent en premier lieu le positionnement des yeux le long des lignes de texte, et contraignent en retour l'extraction des informations

visuelles et l'accès aux représentations lexicales. La rythmique associée aux déplacements des yeux est elle aussi relativement autonome, et rarement en phase avec le traitement des informations fixées. Qu'en est-il de la lecture à proprement parler ? Qu'en est-il de l'activité cognitive qui est indéniablement corrélée à l'activité oculaire ? Celle-ci intervient très certainement, mais uniquement à titre de modulateur d'une activité oculaire définie par défaut, et non comme le moteur principal.

Au delà de remettre en cause l'hypothèse d'un contrôle cognitif direct du regard pendant la lecture, notre propos est aussi de mettre en garde les chercheurs utilisant les mouvements oculaires comme outils pour l'étude des processus cognitifs. Comme nous l'avons vu, le gain en naturalité a un prix, et il semble que tant que nous n'aurons pas un modèle précis des processus visuo-moteurs à l'œuvre pendant la lecture, la technique des mouvements oculaires devra être utilisée avec prudence. Il faudra tant que faire se peut, éviter l'utilisation de mesures globales qui masquent l'activité oculaire sous-jacente, et strictement contrôler la configuration visuelle que forment les différents stimuli faisant l'objet d'une comparaison. Il faudra par ailleurs éviter tout rapprochement abusif entre mot fixé et mot traité, ou entre temps de fixation et temps de traitement. Ces mises en garde s'appliquent aussi bien au domaine de la syntaxe qu'à l'étude des processus de reconnaissance des mots en situation de lecture naturelle. Comme le note Grainger (2000), l'analyse du comportement oculaire ne peut, de par ses limitations, remplacer les méthodes traditionnelles de la psycholinguistique, et une approche multitâche reste nécessaire.

Plus qu'un outil pour l'investigation des processus cognitifs, les mouvements oculaires doivent avant tout être considérés comme un objet d'étude qui définit les premières étapes de traitement sur lesquels repose la lecture. En nous renseignant notamment sur les contraintes qui pèsent sur l'extraction des informations visuelles en lecture naturelle, l'analyse du comportement oculaire met en évidence les faiblesses des modèles actuels de reconnaissance

des mots et invite à plusieurs révisions. Elle peut aussi, dans une certaine mesure, aider à l'étude du déroulement temporel des processus perceptifs et lexicaux associés à la reconnaissance des mots. Des modèles récents de la dynamique sous-jacente à la génération des saccades définissent la fenêtre temporelle dans laquelle les facteurs cognitifs peuvent influencer l'activité oculaire. S'il s'avère que cette fenêtre est suffisamment large pour déterminer comment le système intègre au cours du temps les différentes propriétés des mots, alors tout un champ de recherche s'ouvre aux psycholinguistes.

Références

- Balota, D.A. & Chumbley, J.I. (1984) Are lexical decisions a good measure of lexical access? The role of word frequency in the neglected decision stage. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 10:340-357.
- Bouma, H. (1970). Interaction effects in parafoveal letter recognition. *Nature*, 226, 177-178.
- Bouma, H., & deVoogd, A.H. (1974). On the control of eye saccades in reading. *Vision Research*, 14, 273-284.
- Brysbaert, M., Drieghe, D. (2003). Please stop using word frequency data that are likely to be word length effects in disguise. *Behavioral and Brain Sciences*.
- Brysbaert, M., & Vitu, F. (1998). Word skipping: Implications for theories of eye movement control in reading. In G. Underwood (Ed.), *Eye guidance in Reading and Scene Perception*. Oxford: Elsevier.
- Brysbaert, M., Vitu, F., & Schroyens, W. (1996). The right field visual advantage and the optimal viewing position effect: On the relation between foveal and parafoveal word recognition. *Neuropsychologia*, 10 (3), 385-395.
- Buswell, G.T. (1920). An experimental study of the eye-voice span in reading. *Supplementary Educational Monographs*, 17.
- Clark, J. J., & O'Regan, J. K. (1999). Word ambiguity and the optimal viewing position in reading. *Vision Research*, 39(4), 843-857.
- Clifton, (2003). On using eye tracking data to evaluate theories of on-line sentence processing: The case of reduced relative clauses. Paper presented at 12th European Conference on Eye Movements, Dundee.
- Dodge, R. An experimental study of visual fixation. *Psychol. Monogr.*, 35, 1-95.
- Donders, F.C. (1969). On the speed of mental processes. *Acta Psychologica*, 30, 412-431.

- Deubel, H., O'Regan, J.K., & Radach, R. (2000). Attention, information processing, and eye movement control. In: A. Kennedy, R. Radach, D. Heller, & J. Pynte (Eds.). *Reading as a perceptual process* (pp. 355-374). Oxford: Elsevier.
- Dunn-Rankin, P. (1978). The visual characteristics of words. *Scientific American*, 238, 122-130.
- Engbert, & Kliegl (2003). Spatially distributed processing in reading. Paper presented at 12th European Conference on Eye Movements, Dundee.
- Engbert, R., Longtin, A., & Kliegl, R. (2002). A dynamical model of saccade generation in reading based on spatially distributed lexical processing. *Vision Research*, 42, 621-636.
- Farid, M. & Grainger, J. (1996). How initial fixation position influences visual word recognition: A comparison of French and Arabic. *Brain & Language*, 53, 351-368.
- Ferrand, L. *Cognition et lecture : Processus de base de la reconnaissance des mots écrits chez l'adulte*. Bruxelles: DeBoeck Université.
- Ferrand, L., & Grainger, J. (1992). Phonology and orthography in visual word recognition: Evidence from masked nonword priming. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 45A, 353-372.
- Findlay, J. (2003). *Active Vision: The psychology of looking and seeing*. Oxford, University Press.
- Findlay, J. & Walker, R. (1999). A model of saccade generation based on parallel processing and competitive inhibition. *Behavioral and Brain Sciences*, 22(4), 661-720.
- Fischer, M. (2000). Perceiving spatial attributes of print. In: A. Kennedy, R. Radach, D. Heller, & J. Pynte (Eds.). *Reading as a perceptual process* (pp. 89-117). Oxford: Elsevier.

- Grainger, J. (2000). From print to meaning via words? In: A. Kennedy, R. Radach, D. Heller, & J. Pynte (Eds.). *Reading as a perceptual process* (pp. 147-161). Oxford: Elsevier.
- Grainger, J., & Jacobs, A.M. (1994). A dual-route model of word context effects in letter perception: Further investigations of the word superiority effect. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20, 1158-1176.
- Grainger, J., O'Regan, J.K., Jacobs, A.M., & Segui, J. (1989). On the role of competing word units in visual word recognition: The neighborhood frequency effect. *Perception & Psychophysics*, 45(3), 189-195.
- Grainger, J., O'Regan, J.K., Jacobs, A.M., & Segui, J. (1992). Neighborhood frequency effects and letter visibility in visual word recognition. *Perception & Psychophysics*, 51(1), 49-56.
- Grainger, J., & van Heuven (sous presse). Modeling letter position coding in printed word perception.
- Henderson, J.M. (1993). Eye movement control during visual object processing: Effects of initial fixation position and semantic constraint. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 47 (1), 79-98.
- Huey (1908). *The psychology and pedagogy of reading*. New York : Macmillan.
- Holmes, V.M. & O'Regan, J.K. (1987) Decomposing french words. In: *Eye movements: From physiology to cognition*, (Ed.) J.K. O'Regan & A. Lévy-Schoen. North Holland.
- Inhoff, A.W. (1989) Parafoveal processing of words and saccade computation during eye fixations in reading. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 15, 544-555.

- Inhoff, A., & Radach, R. (1998). Definition and computation of oculomotor measures in the study of cognitive processes. In: G. Underwood (Ed.). *Eye guidance in reading, Driving, and Scene Perception* (pp. 29-53). Oxford: Elsevier.
- Inhoff, A.W., Radach, R., Starr, M., & Greenberg, S. (2000). Allocation of visuo-spatial attention and saccade programming during reading. In A. Kennedy, R. Radach, D. Heller, & J. Pynte (Eds.). *Reading as a perceptual process* (pp. 301-326). Oxford: Elsevier.
- Inhoff, A.W., & Rayner, K. (1986). Parafoveal word processing during eye fixations in reading: Effects of word frequency. *Perception & Psychophysics*, 40, 431-439.
- Inhoff, A.W., Starr, M., & Shindler, K.L. (2000). Is the processing of words during eye fixations in reading strictly serial? *Perception & Psychophysics*, 62(7), 1474-1484.
- Jacobs, A.M. (2000). Five questions about cognitive models and some answers from three models of reading. In: A. Kennedy, R. Radach, D. Heller, & J. Pynte (Eds.). *Reading as a perceptual process* (pp. 721-732). Oxford: Elsevier.
- Just, M.A. & Carpenter, P.A. (1980). A theory of reading: from eye fixations to comprehension. *Psychological Review*, 87, 329-354.
- Kambe, G., Duffy, S.A., Clifton, C., & Rayner, K. (2003). *Psychonomic Bulletin & Review*, 10(3), 661-666.
- Kennison, S.M., & Clifton, C.C. (1995). Determinants of parafoveal preview benefit in high and low working memory capacity readers: Implications for eye movement control. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 21, 68-81.
- Lavigne, F., Vitu, F., & d'Ydewalle, G. (2000). The influence of semantic context on initial landing sites in words. *Acta Psychologica*, 104, 191-214.
- Lévy-Schoen, A. (1969). *L'étude des mouvements oculaires*. Paris : Dunod.

- Lévy-Schoen, A. (1983). Mesurer les mouvements des yeux : Pour quoi faire ?. *Le Travail Humain*, 46(1), 3-9.
- Lee, H.W., Rayner, K., & Pollatsek, A. (1999). The time course of phonological, semantic, and orthographic coding in reading: Evidence from the fast priming technique. *Psychonomic Bulletin & Review*, 6, 624-634.
- Levi, D.M., Klein, S.A., & Aitsebaomo A.P. (1985). Vernier acuity, crowding and cortical magnification. *Vision Research*, 25(7), 963-977.
- Lima, S.D. & Inhoff, A.W. (1985) Lexical access during eye fixations in reading: Effects of word-initial letter sequence. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 11, 272-285.
- Liversedge, S.P., Paterson, K.B., & Pickering, M.J. (1998). Eye movements and measures of reading time. In: G. Underwood (Ed.). *Eye guidance in reading, Driving, and Scene Perception* (pp. 55-75). Oxford: Elsevier.
- McClelland, J.L. & Rumelhart, D.E. (1981). An interactive activation model of context effects in letter perception: Part I. An account of basic findings. *Psychological Review*, 88(5), 375-407.
- McClelland, J.L. & Rumelhart, D.E. (1986). The programmable blackboard model of reading. In: J.L. McClelland, & D.E. Rumelhart (Eds.), *Parallel distributed processing, Explorations in the microstructure of cognition. Volume 2: Psychological and biological models* (pp.122-169). Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- McConkie, G.W., & Dyre, B.P. (2000). Eye fixation duration in reading: Models of frequency distributions. In: A. Kennedy, R. Radach, D. Heller, & J. Pynte (Eds.). *Reading as a perceptual process* (pp. 683-700). Oxford: Elsevier.

- McConkie, G.W., Kerr, P.W., & Dyre, B.P. (1994). What are “normal” eye movements during reading: Toward a mathematical description. In: J. Ygge, & G. Lennerstrand (Eds.), *Eye movements in reading* (pp. 315-328). Oxford, England: Pergammon Press.
- McConkie, G.W., Kerr, P.W., Reddix, M.D., & Zola D. (1988). Eye movement control during reading: I. The location of initial eye fixations on words. *Vision Research*, 28 (10), 1107-1118.
- McConkie, G.W., Kerr, P.W., Reddix, M.D., Zola, D., & Jacobs, A.M. (1989). Eye movement control during reading: II. Frequency of refixating a word. *Perception & Psychophysics*, 46, 245-253.
- McConkie, G.W., & Rayner, K. (1975). The span of the effective stimulus during a fixation in reading. *Perception & Psychophysics*, 17, 578-586.
- Mozer, M.C. (1983). Letter migration in word perception. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 9, 531-546.
- Nazir, T.A. (2000). Traces of print along the visual pathway. In: A. Kennedy, R. Radach, D. Heller, & J. Pynte (Eds.). *Reading as a perceptual process* (pp. 3-22). Oxford: Elsevier.
- Nazir, T.A., Heller, D., & Sussman, C. (1992). Letter visibility and word recognition: The optimal viewing position in printed words. *Perception & Psychophysics*, 52, 315-328.
- Nazir, T. A., Jacobs, A. M., & O'Regan, J. K. (1998). Letter legibility and visual word recognition. *Memory & Cognition*, 26(4), 810-821.
- Nazir, T., O'Regan, J.K., & Jacobs, A.M. (1991). On words and their letters. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 29, 171-174.
- O'Regan, J.K. (1979). Eye guidance in reading. Evidence for the linguistic control hypothesis. *Perception and Psychophysics*, 25, 501-509.

- O'Regan, J. K. (1990). Eye movements and reading. In: E. Kowler (Ed.), *Eye movements and their role in visual and cognitive processes* (pp. 395-453). Elsevier.
- O'Regan, J.K. (1992). Optimal viewing position in words and the strategy-tactics theory of eye movements in reading. In: K. Rayner (Ed.). *Eye movements and visual cognition: Scene Perception and Reading* (pp. 333-354). New York: Springer-Verlag.
- O'Regan, J.K., & Jacobs, A. (1992). Optimal viewing position effect in word recognition: A challenge to current theories. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *18*(1), 185-197.
- O'Regan, J.K., & Lévy-Schoen, A. (1978). Les mouvements des yeux au cours de la lecture. *L'Année Psychologique*, *78*, 159-192.
- O'Regan, J.K., & Lévy-Schoen, A. (1987). Eye movement strategy and tactics in word recognition and reading. In: M. Coltheart (Eds.). *Attention and Performance XII: The psychology of reading* (pp.363-383). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- O'Regan, J.K., Lévy-Schoen, A., Pynte, J., & Brugailière, B. (1984). Convenient fixation location within isolated words of different length and structure. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *10*, 250-257.
- Perea, M., & Pollatsek, A. (1998). The effects of neighborhood frequency in reading and lexical decision. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *24*(3), 767-779.
- Pynte, J. (1996). Lexical control of within-word eye movements. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *22* (4), 958-969.
- Radach, R., & McConkie, G.W. (1998). Determinants of fixation positions in words during reading. In G. Underwood, *Eye Guidance in Reading and Scene Perception*, Oxford: Elsevier (pp. 77-100).

- Rayner, K. (1979). Eye guidance in reading: fixation location within words. *Perception*, 8, 21-30.
- Rayner, K. (1998). Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychological Bulletin*, 124 (3), 372-422.
- Rayner, K. (1986). Eye movements and the perceptual span in beginning and skilled readers. *Journal of Experimental Child Psychology*, 41, 211-236.
- Rayner, K., Binder, K.S., Ashby, J., & Pollatsek, A. (2001). Eye movement control in reading: Word predictability has little influence on initial landing positions in words. *Vision Research*, 41, 943-954.
- Rayner, K., & Fischer, M.H. (1996). Mindless reading revisited: Eye movements during reading and scanning are different. *Perception & Psychophysics*, 58(5), 734-747.
- Rayner, K., & Pollatsek, S. (1989). *The psychology of Reading*. London: Prentice-Hall.
- Rayner, K., Sereno, S.C., Lesch, M.F., & Pollatsek, A. (1995). Phonological codes are automatically activated during reading: Evidence from an eye movement priming paradigm. *Psychological Science*, 6, 26-32.
- Rayner, K., Sereno, S.C., & Raney, G.E. (1996). Eye movement control in reading: A comparison of two types of models. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 22(5), 1188-1200.
- Reichle, E.D., Rayner, K., & Pollatsek, A. (2003). The E-Z reader model of eye movement control in reading: Comparisons to other models. *Behavioral and Brain Sciences*.
- Reilly, R., & Radach, R. (2003). Foundations of an interactive activation model of eye movement control in reading. In J. Hyönä, R. Radach, & H. Deubel (Eds.), *The mind's eye: Cognitive and applied aspects of eye movements*.

- Rumelhart, D.E., & McClelland, J.L. (1982). An interactive activation model of context effects in letter perception: Part 2. The contextual enhancement effect and some tests and extensions of the model. *Psychological Review*, 89(1), 60-94.
- Schilling, H.E.H., Rayner, K., & Chumbley, J.I. (1998). Comparing naming, lexical decision, and eye fixation times: Word frequency effects and individual differences. *Memory & Cognition*, 26, 1270-1281.
- Schroyens, W., Vitu, F., Brysbaert, M., & d'Ydewalle, G. (1999). Eye movement control during reading: foveal load and parafoveal processing. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 52A (4), 1021-1046.
- Segui, J., & Grainger, J. (1990). Priming word recognition with orthographic neighbors: Effects of relative prime-target frequency. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 16(1), 65-76.
- Sereno, S.C., & Rayner, K. (2003). Measuring word recognition in reading: Eye movements and event-related potentials. *Trends in Cognitive Sciences*.
- Stevens, M., & Grainger, J. (2003). Letter visibility and the viewing position effect in visual word recognition. *Perception & Psychophysics*, 65(1), 133-151.
- Tinker, M.A.(1958). Recent studies of eye movements in reading, *Psychological Bulletin*, 55, 215-231.
- Trueswell, J.C., Tanenhaus, M.K., & Kello, C. (1993). Verb-specific constraints in sentence processing: separating effects of lexical preference from garden-paths. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 19(3), 528-553.
- Vitu, F. (1990). *Le guidage oculaire pendant la lecture : Rôle des facteurs visuels, linguistiques et oculomoteurs*, Thèse de Doctorat, Université Paris V.
- Vitu, F. (1991a). The existence of a center of gravity effect during reading, *Vision Research*, 31 (7/8), 1289-1313.

- Vitu, F. (1991b). The influence of parafoveal preprocessing and linguistic context on the optimal landing position effect, *Perception and Psychophysics*, 50, 58-75.
- Vitu, F. (1991c). Research Note: Against the existence of a range effect during reading, *Vision Research*, 31 (11), 2009-2015.
- Vitu, F. (1999a). About saccade generation in reading. *Behavioral and Brain Sciences*, 22, 702-703.
- Vitu, F. (1999b). Les saccades régressives pendant la lecture: Comparaison enfants/adultes. *Sciences de la Vision et leurs Applications, Bulletin de la Société Française d'Optique Physiologique n°7* (1999).
- Vitu, F. (2003). The basic assumptions of E-Z reader are not well-founded. *Behavioral and Brain Sciences*.
- Vitu, F., Brysbaert, M., & Lancelin, D. (2004). A test of parafoveal-on-foveal effects with pairs of orthographically related words. *The European Journal of Cognitive Psychology*, 16(1/2),154-177.
- Vitu, F., Kapoula, Z., Lancelin, D., & Lavigne, F. (2004). Eye movements in reading isolated words: Evidence for strong biases towards the center of the screen. *Vision Research*, 44(3), 321-338.
- Vitu, F., Lavigne, F., Lelandais, A., Ohana, E., & Lancelin, D. (2001). Do initial landing sites in words depend on ongoing word identification processes? *11th ECEM (European Conference on Eye Movements)*, Turku.
- Vitu, F., & McConkie, G.W. (2000). Regressive saccades and word perception in adult reading. In: A. Kennedy, R. Radach, D. Heller, & J. Pynte (Eds.). *Reading as a perceptual process* (pp. 301-326). Oxford: Elsevier.

- Vitu, F., & McConkie, G.W. (2003). Visuo-motor influences on eye movements in reading : How word position on line affects landing positions in words. *ECEM12* (12th European Conference on Eye Movements), Dundee.
- Vitu, F., McConkie, G.W., Kerr, P., & O'Regan, J.K. (2001). Fixation location effects on fixation durations during reading : an inverted optimal viewing position effect. *Vision Research*, 41(25-26), 3511-3531.
- Vitu, F., McConkie, G.W., & Zola, D. (1998). About regressive saccades in reading and their relation to word identification. In: G. Underwood (Ed.). *Eye guidance in reading, Driving, and Scene Perception* (pp. 101-124). Oxford: Elsevier.
- Vitu, F. & O'Regan, J.K. (1989). Le rôle du prétraitement périphérique dans la lecture de textes, *Journal de Médecine Nucléaire et Biophysique*, 13 (5), 359-366.
- Vitu, F., & O'Regan, J.K. (1995). A challenge to current theories of eye movements in reading. In: J. Findlay, R.W. Kentridge, & R. Walker (Eds.). *Eye movement research: Mechanisms, Processes and applications* (pp. 381-392). Amsterdam, Lausanne, NY, Oxford, Shannon, Tokio: Elsevier.
- Vitu, F., O'Regan, J.K., Inhoff, A.W., Topolski, R. (1995). Mindless reading: Eye movement characteristics are similar in scanning strings and reading texts. *Perception & Psychophysics*, 57, 352-364.
- Vitu, F., O'Regan J.K., & Mittau, M. (1990). Optimal landing position in reading isolated words and continuous text. *Perception & Psychophysics*, 47 (6), 583-600.
- Yang, S.-N., & McConkie, G.W. (2001). Eye movements during reading: A theory of saccade initiation times. *Vision Research*, 41, 3567-3585.
- Yang, S.-N., & McConkie, G.W. (2004). Saccade generation during reading : Are words necessary? *European Journal of Cognitive Psychology*, 16(1/2), 226-261.

Remerciements

Nous remercions vivement Ludovic Ferrand pour les échanges et conseils bibliographiques nombreux qu'il nous a prodigués tout au long de la rédaction de ce chapitre.