



CHAPITRE 1

LES MOUVEMENTS DES YEUX PENDANT LA LECTURE

PSYC-E-3032 | Langage écrit : processus de base, acquisition et troubles
Pr. Hélène Lafontaine et Pr. Fabienne Chetail

Version 22-23

 BY-NC-ND



TABLE DES MATIÈRES

Introduction.....	3
1.1. Les premières observations	3
1.2. Techniques d'enregistrement.....	4
Caractéristiques et fonctions des mouvements oculaires.....	6
2.1. Caractéristiques.....	6
2.1.1. Saccades et fixations	6
2.1.2. Des différences... entre individus et entre langues	8
2.2. Fonctions des mouvements oculaires ?.....	10
2.2.1. Pourquoi faire des mouvements oculaires ?	10
2.2.2. Conséquences ?	11
L'empan perceptif	13
3.1. Définition	13
3.2. Techniques de mesure	13
3.2.1. Techniques anciennes	13
3.2.2. Techniques de la fenêtre mobile	15
3.3. Mesure de l'empan perceptif	16
3.4. Conclusion	18
Intégration des informations entre les fixations.....	19
4.1. Comment se déroule l'intégration ?.....	19
4.2. Nature du traitement sur le mot « parafovéal »	20
4.3. Conclusion	22
Le contrôle des mouvements oculaires	23
5.1. Quand partir ?.....	23
5.2. Où aller ?	24
Mouvements oculaires et troubles de la lecture	26
6.1. Argument initial	27
6.2. D'autres pistes	27
Et la lecture rapide ?.....	29

~



– Section 1 –

Introduction

Pour la grande majorité des gens, lire commence tout d’abord par capter de l’information via les yeux. C’est ce que vous êtes en train de faire en ce moment. Il est donc tout naturel de commencer à parler du traitement du langage écrit en s’intéressant aux mouvements que font les yeux pendant la lecture. C’est ce qu’on appelle les **mouvements oculaires**.

1.1. Les premières observations

La compréhension du comportement des yeux pendant la lecture a intéressé les scientifiques et médecins très tôt, bien avant même que la psychologie cognitive ne soit officiellement créée comme champ d’étude. Les premières observations datent de la fin des années 1890, et on les attribue souvent à Emile Javal (1905), ophtalmologue qui souffrait lui-même de troubles de visions (Figure 1.1). Il semble néanmoins qu’il ne soit pas le premier à avoir fait ces observations, mais c’est à lui en tout cas qu’on attribue les termes de saccades et de fixations. Ce dont se rend compte Javal, c’est que non seulement on bouge les yeux pendant la lecture, mais surtout, contrairement à ce qu’on pensait à l’époque, les mouvements (= **saccades**) ne sont pas uniformes et sont entrecoupés de pauses (= **fixation**).

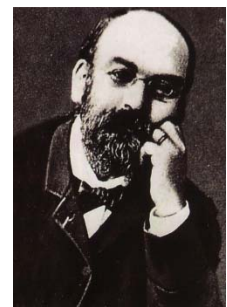
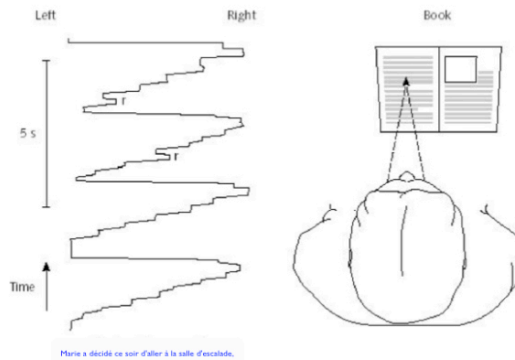


Figure 1.1. Emile Javal

La Vidéo 1.1 permet de comprendre graphiquement cette idée. Elle présente un tracé de mouvements oculaires relativement ancien qui représente des saccades et des fixations au cours de la lecture. Le point important à repérer ici est que la progression dans les mouvements des yeux n’est pas continue. La figure montre que les yeux font des mouvements très rapides –des sortes de sauts– que nous appelons des saccades, et ensuite des pauses –des arrêts pour prélever de l’information–, que nous appelons les fixations. Une autre particularité que l’on peut voir sur la figure c’est que les yeux progressent dans le sens de la lecture, mais il se produit parfois des retours en arrière : c’est ce qu’on appelle des saccades régressives ou des **régressions**.



Vidéo 1.1. Représentation graphique d'un enregistrement de mouvements oculaires

1.2. Techniques d'enregistrement

La découverte du principe d'alternance saccades/fixations a été possible grâce au développement d'outils qui ont permis de mesurer les mouvements oculaires. Ces outils, bien que rudimentaires, ont été le point de départ de ce champ d'étude. La Figure 1.2 représente le schéma d'un des premiers protocoles utilisés pour mesurer les mouvements oculaires. Initialement, on collait sur le globe oculaire une petite cupule translucide en plâtre spécial. Cette cupule était rattachée à un système de poulie qui permettait d'amplifier les déplacements et donc de tracer sur un tambour rotatif les déplacements horizontaux, en fonction des déplacements de l'œil. Le système était équipé d'une pointe marquante qui laissait couler de l'encre. Si l'œil restait immobile (c'est-à-dire qu'il y avait une fixation), de l'encre coulait plus longtemps, faisant une tâche sur le papier du tambour. Plus la fixation était longue, plus la tâche était grosse.

Aujourd'hui, l'étude des mouvements oculaires est un champ de recherche toujours extrêmement actif, car c'est considéré comme un moyen privilégié pour étudier les processus mis en œuvre dans la lecture. Les mesures oculomotrices présentent l'avantage d'être sensibles à un grand nombre de processus cognitifs et peuvent être obtenues dans des conditions relativement naturelles et écologiques, dans lesquelles on ne demande rien d'autre au participant que de lire un texte de manière à le comprendre, tel qu'il le fait dans la vie de tous les jours (pas de réponse manuelle à donner, pas de décision à prendre sur les mots, etc...).

Les questions qui animent les recherches scientifiques dans ce domaine restent très proches de celles des années 1900, mais les techniques ont considérablement évoluées. Notamment, l'enregistrement des mouvements oculaires ne nécessite plus de poser quoi que ce soit sur l'œil des participants, ce qui rend la

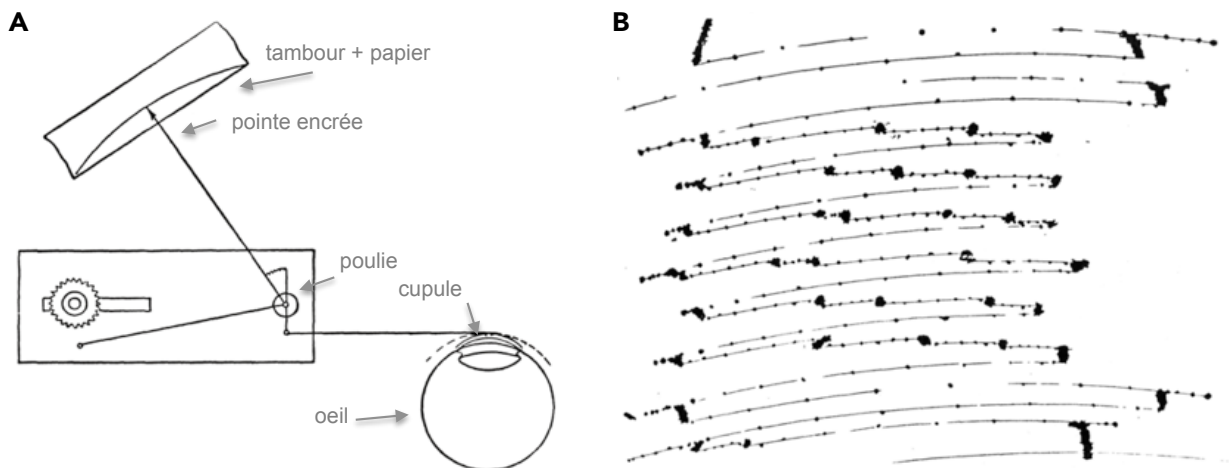


Figure 1.2. Protocole des années 1900 pour l'enregistrement des mouvements oculaires (A), exemple de données obtenues (B). Voir texte pour détails.

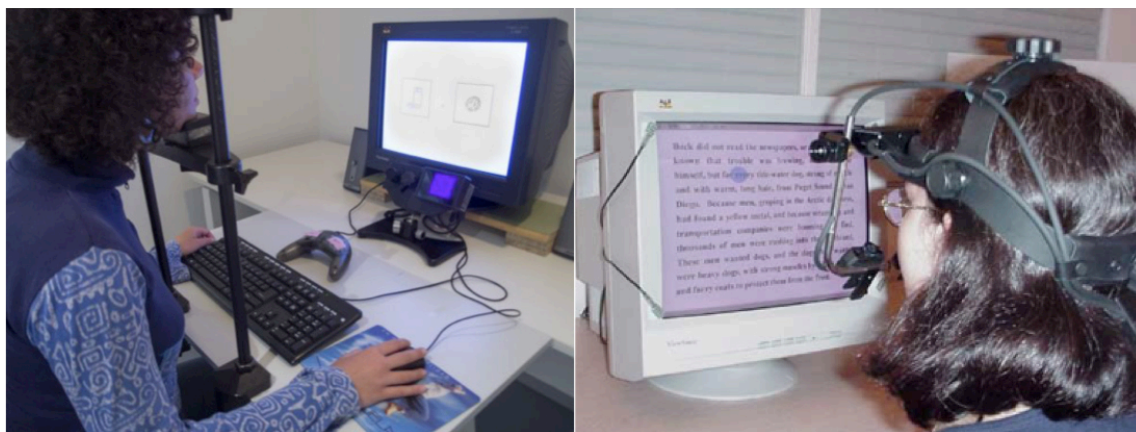
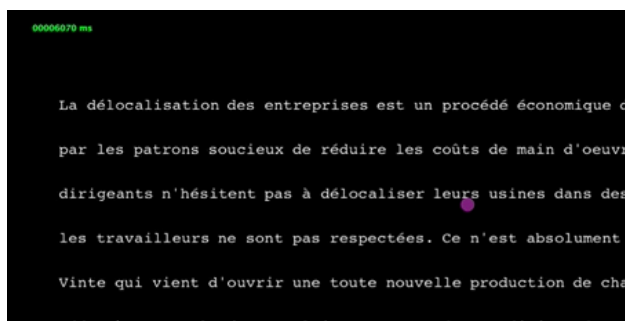


Figure 1.3. Outils actuels pour la mesure des mouvements oculaires. A gauche, la caméra est placée en bas de l'écran de l'ordinateur. A droite, les caméras sont sur le casque posé sur la tête du lecteur.

méthode actuelle totalement non invasive. Ce sont maintenant des caméras, orientées vers les globes oculaires, qui filment et enregistrent les mouvements de la pupille de l'un des deux yeux du lecteur (Figure 1.3). Cet enregistrement se fait par rayons infra-rouges et est transmis à un ordinateur toutes les 2 ou 4 millisecondes. Les caméras qui enregistrent les mouvements des yeux sont soit intégrées dans un casque posé sur la tête du participant, soit disposées à distance, généralement en bas de l'écran de l'ordinateur sur lequel le participant est en train de lire.

Avec ces informations, il est possible de reconstruire les mouvements oculaires d'un lecteur pour un texte donné (Vidéo 1.2). Si pendant plusieurs envois d'informations par la caméra à l'ordinateur, les coordonnées des yeux mesurées sont les mêmes, alors le logiciel de traitement du signal interprète que le lecteur est en train de faire une fixation, et le logiciel peut calculer la durée de cette fixation. De plus, la comparaison en continu des coordonnées de l'œil reçues par l'ordinateur aux temps t , $t+1$, $t+2$,... permet au logiciel de calculer la distance parcourue par les yeux lors d'une saccade.

Les méthodes actuelles d'enregistrement des mouvements oculaires (qu'on appelle **eye tracking** ou 'pistage des yeux') permettent d'avoir des informations bien plus précises que dans les premiers travaux, tels que notamment le nombre de fixations des mots, la durée précise de ces fixations (généralement en millisecondes, **ms** ou **msecs**), le nombre de régressions, la longueur des saccades, la dilatation de la pupille, le lieu de fixation à l'intérieur d'un mot, le nombre de clignement d'yeux, etc... (Vidéo 1.3).



Vidéo 1.2. Reconstruction des mouvements oculaires d'un lecteur pendant la lecture d'un texte (Le point violet représente le déplacement des yeux pendant la lecture).

Roadside joggers endure sweat, pain and angry drivers in the name of																		
1	2	3	4	5	6	7	8											
286	221	246	277	256	233	216	188											
fitness. A healthy body may seem reward enough for most people. However,																		
9	10	12	13	11	14	15	16	17	18	19								
301	177	196	175	244	302	112	177	266	188	198								
for all those who question the payoff, some recent research on physical																		
21	20	22	23	24	25	26	27											
216	212	179	109	266	245	188	206											

Vidéo 1.3. Type de données issues d'un enregistrement de mouvements oculaires avec les techniques actuelles



– Section 2 –

Caractéristiques et fonctions des mouvements oculaires

2.1. Caractéristiques

2.1.1. Saccades et fixations

a) Des saccades et des fixations partout

Le comportement oculomoteur lors de la lecture est caractérisé par l'alternance entre des mouvements rapides (**saccades**) et des phases de quasi-immobilité (**fixations**). Cependant, les déplacements de l'œil par saccade et fixation ne sont pas spécifiques de la lecture. Dès qu'il y a une activité d'exploration visuelle ou de perception de scène, les yeux de l'individu alternent entre saccades et fixations. Autrement dit, on est constamment entre train de faire des saccades et des fixations, dès que l'on regarde quelque chose, que ce soit un texte, une image, un film ou autre.

L'intérêt général de l'enregistrement des saccades et des fixations est qu'on peut faire l'hypothèse que les différentes mesures indiquent les parties de la scène visuelle qui présentent un intérêt particulier. Par exemple, si on regarde les mouvements oculaires lors de l'exploration d'un visage, on voit que les centres d'intérêt sont surtout les yeux, puis le contour du visage, le nez, la bouche (Figure 1.4). Cela suggère que ces parties du visage seraient importantes pour la reconnaissance ou l'identification des visages, contrairement au front par exemple, qui n'est pas du tout fixé. Un autre exemple, en dehors du champ scientifique, est trouvé dans le marketing : face à une scène présentant des biens de consommation, l'enregistrement des mouvements oculaires (et notamment des fixations) permet de déterminer ce qui capte visuellement l'attention des personnes lorsqu'ils sont face à des produits.

Le point important à comprendre est que l'existence de saccades et de fixations n'est pas spécifique de la lecture. Ce qui est spécifique de la lecture, c'est leur organisation particulière, qui est liée aux propriétés du matériel, et notamment au fait que l'écrit (dans des langues telles que le français ou l'anglais)

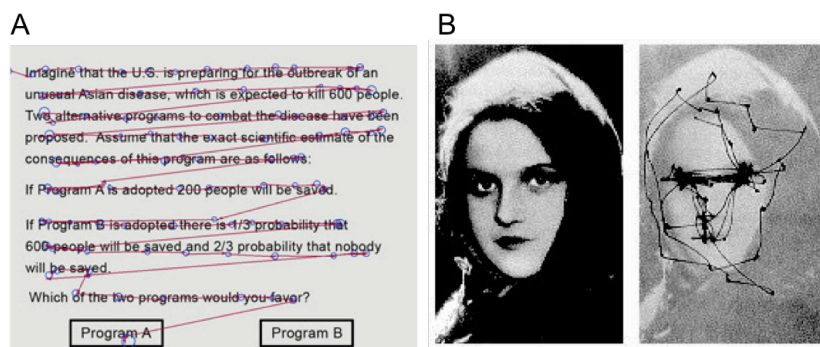


Figure 1.4. Représentation graphique des mouvements oculaires lors de l'exploration d'un texte (A) et d'un portrait (B)

est organisé en ligne et se lit de gauche à droite. La durée des fixations et la taille des saccades n'est donc pas la même lors de la prise d'information à partir d'une image ou d'un texte (cf. Figure 1.4 pour une comparaison entre l'exploration d'un texte et d'un portrait). Ce qui nous intéresse à partir de maintenant sont précisément les mouvements oculaires en lecture.

b) Les saccades : caractéristiques

Les saccades correspondent à la phase de mouvement des yeux. Ce sont des mouvements extrêmement rapides, avec une vitesse maximale allant jusqu'à 500° d'angle par seconde. Ces mouvements sont dits balistiques, dans la mesure où ils incluent une phase d'accélération et une phase de ralentissement, nécessaires pour passer d'une situation où l'œil est immobile (fixation du mot n) à une situation où l'œil est aussi immobile (fixation du mot $n+1$). La durée moyenne des saccades est de 20-35 msec et leur amplitude est en moyenne de 6-9 caractères, c'est-à-dire environ 2° d'angle (incluant lettres, espaces, signes de ponctuation,...). Cette amplitude correspond plus ou moins à la longueur moyenne des mots que l'on rencontre à l'écrit dans les langues alphabétiques.

Une autre caractéristique importante est que pendant les saccades il n'y a pas de prise d'information par le système visuel. En effet, pendant la saccade la lumière change tout le temps, ne permettant pas de recevoir de l'information claire. D'autre part, il y a des mécanismes physiologiques de blocage de prise de l'information. Enfin, la majorité des saccades sont progressives (85-90%, allant de gauche à droite), mais on trouve également des saccades régressives (ou régressions), bien que moins fréquemment (10-15%, allant de droite à gauche).

Il est à noter qu'il y a une très grande variabilité dans ces caractéristiques. La Figure 1.5 présente la distribution de l'amplitude des saccades (en nombre de caractères) sur un groupe de lecteurs qui lisent des textes courants. L'amplitude est représentée sur l'axe des abscisses (xx'), allant de -20 à +25 caractères

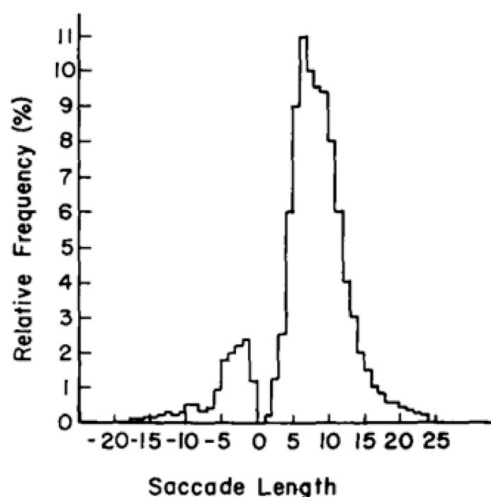


Figure 1.5. Distribution du nombre de caractères) pour un groupe de 8 anglophones lisant des textes courants (repris de Rayner & Pollatsek, 1987)

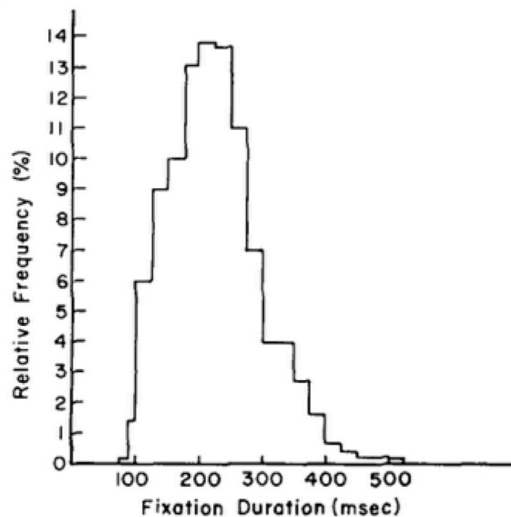


Figure 1.6. Distribution du nombre de caractères) pour un groupe de 8 anglophones lisant des textes courant (repris de Rayner & Pollatsek, 1987)

(les chiffres négatifs correspondent à l'amplitude des régressions). La fréquence d'occurrence de ces amplitudes est représentée en ordonnées (yy'). Le pic sur le graphique montre qu'effectivement la majorité des saccades sont entre 6 et 10 caractères, avec un mode à 6 ou 7, mais ça peut aller jusqu'à 25 caractères. Il y a moins de saccades régressives (partie négative), mais elles varient elles aussi largement (de -1 à -17 environ).

Une question qui s'impose (et sur laquelle on va revenir) est qu'est-ce qui détermine cette variabilité ? Est-ce que c'est une variation volontaire (ou en tout cas contrôlée par le système de traitement du lecteur) ou est-ce que c'est une variation aléatoire ?

c) Les fixations : caractéristiques

Les fixations correspondent aux pauses pendant la lecture, c'est-à-dire à des phases d'immobilité. On dit que cette immobilité est relative (on parle de quasi-immobilité) car en réalité, même quand il paraît immobile, l'œil fait des petits mouvements déterminés par des facteurs purement physiologiques, tels que les nystagmus (= micro mouvements d'oscillation involontaires et saccadés du globe oculaire). C'est durant les fixations qu'il y a une prise d'information par le système visuel, avec une exploration quasi systématique du matériel à lire. Ainsi, environ 80% des mots reçoivent au moins une fixation. La durée des fixations varie entre 150 et 500 msec en moyenne. La Figure 1.6 présente la distribution de la durée de fixation (les durées sont présentées en abscisses) pour le même groupe de huit lecteurs de la Figure 1.5. Comme pour les saccades, il y a une grande variabilité. Le mode est autour de 220 msec et globalement, la durée oscille entre 80 et 520 msec.

La même question que pour les saccades peut être soulevée : qu'est-ce qui détermine la durée des fixations ? Autrement dit : Quel mécanisme décide qu'à un moment donné la prise d'information a été suffisante et que les yeux peuvent faire une saccade ? Nous allons y revenir plus loin.

2.1.2. Des différences... entre individus et entre langues

On a vu dans la Vidéo 1.3 que la longueur des saccades ou la durée des fixations varient pour un même lecteur. Ce sont des variations intra-individuelles. Cependant, il y a également de grandes variations possibles entre les lecteurs (**variations inter-individuelles**) : certains lecteurs fixent plus longtemps les mots, font plus de régressions, etc... Un exemple extrême de variation entre deux lecteurs (un bon lecteur et un faible lecteur) est donné Figure 1.7. Ce constat invite à se poser la question du statut de cause ou

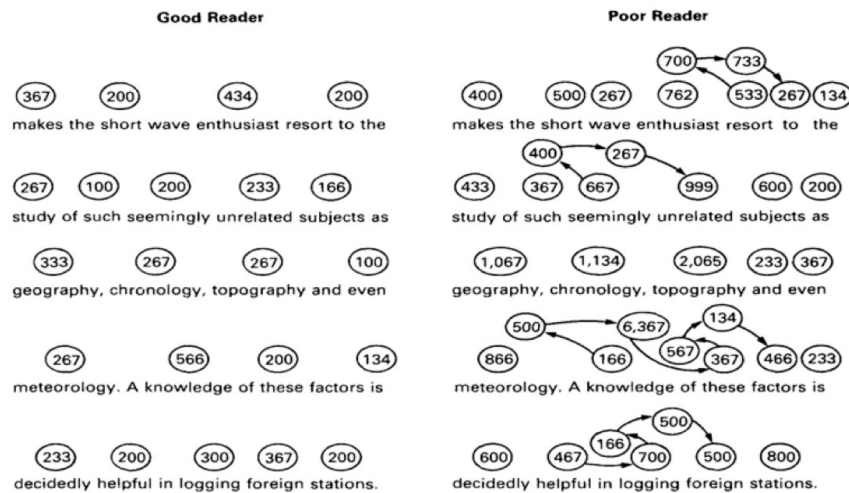


Figure 1.7. Données d'enregistrement de mouvements oculaires pour 2 lecteurs différents. L'individu avec un faible niveau de lecture (*poor reader*) fixe plus de mots, a des durées de fixation plus longues, et fait plus de régressions que le bon lecteur (*good reader*).

de conséquence de ces différences par rapport aux troubles de lecture : est-ce c'est que parce qu'on est un faible lecteur (pour toutes sortes de raisons envisageables) que l'on a du mal à contrôler notre activité oculaire ou est-ce que c'est parce qu'on a des difficultés particulières à contrôler l'activité de nos yeux que l'on a des difficultés en lecture ? Nous reviendrons plus tard dans le chapitre à cette question.

Une autre question que l'on peut très logiquement se poser est : est-ce que ces caractéristiques générales des mouvements oculaires se retrouvent dans des langues non alphabétiques, telles que le chinois par exemple ? La réponse semble être positive. Dans une étude comparative, Rayner et al. (2007) ont effectivement montré que la durée moyenne de fixation était très similaire pour des lecteurs de l'anglais et du chinois (~225-250 msecs). De plus, sans surprise, les saccades sont en moyenne plus courtes en chinois (~ 2.6 caractères) qu'en anglais (~ 7-8 lettres), mais cela est tout à fait comparable si l'on tient compte du fait que l'information est présentée de façon plus condensée en chinois (la majorité des mots font entre 1 et 3 caractères). Enfin, la probabilité de sauter un mot tend à être similaire dans les deux langues, et l'empan perceptif (présenté dans la section D) s'étend de 1 caractère à gauche du point de fixation à 2-3 caractères à droite lors de la lecture de gauche à droite, ce qui est comparable à l'empan des lecteurs en anglais (3-4 à gauche et 14-15 à droite du point de fixation) (voir Figure 1.8).

	Chinese	English
Fixation	225-250 ms	225-250 ms
Saccades	2.6 characters	7-8 letters
Regression rate	15%	15%
Prob of skipping	20-30%	30%
Disappear text	40-60 ms	50-60 ms
Perceptual span	1 char left, 2-3 chars right	3-4 letters left, 14-15 right

Figure 1.8. Tableau comparatif des caractéristiques des mouvements oculaires en chinois et en anglais.

2.2. Fonctions des mouvements oculaires ?

2.2.1. Pourquoi faire des mouvements oculaires ?

On a besoin de faire des mouvements oculaires pour faire correspondre l'objet fixé (ici, des mots écrits) avec la zone de la rétine la plus sensible aux détails. Pour comprendre cela, voici quelques éléments généraux d'anatomie de l'œil. Nous nous intéressons principalement à la rétine.

La rétine est la membrane interne de l'œil qui contient des récepteurs sensoriels. Elle est composée de trois parties principale : la **fovea**, la **parafovea** et la **zone périphérique** (Figure 1.9). La fovea et la parafovea forment ce qu'on appelle la **macula lutea** (tâche jaune) qui se trouve dans l'axe du regard. Donc quand on fixe quelque chose dans une scène visuelle, c'est dans la macula lutea que les images se projettent. Cette zone est toute petite. En effet, la fovea correspond à une zone de ~ 2 degrés d'angle de vision au centre de la macula (environ 0.5-1 mm de diamètre) alors que la parafovea sous-tend une zone de 10° , soit un disque de $\sim 3-4$ mm de diamètre. Cependant, seule la macula lutea permet de capter des détails, avec une précision bien plus importante dans la fovéa que dans la parafovéa.

Pour lire, on a besoin de reconnaître des configurations visuelles très précises (agencement de traits et de courbes qui forment les lettres et les mots), donc on a besoin de bouger les yeux pour faire en sorte que les éléments à percevoir correspondent avec l'axe du regard et soient donc projetés dans la région fovéale, l'unique région permettant de percevoir les détails.

Pourquoi cette zone, et uniquement cette zone, permet une vision précise ? Cela est dû aux cellules qui tapissent la rétine. Le système visuel traite la lumière grâce à deux sortes de cellules : les **cônes** et les **bâtonnets** (Figure 1.10A). Les cônes sont des cellules qui codent pour la couleur et des détails précis. En effet, parce qu'ils sont physiquement plus petits que les bâtonnets, ils sont plus concentrés et peuvent coder les informations de façon plus précise. Les bâtonnets quant à eux sont très sensibles aux variations de lumière et permettent notamment la vision dans la pénombre. Or ces deux types de cellules sont distribuées différemment sur la membrane rétinienne (Figure 1.10B). Notamment, les cônes sont concentrés dans la zone fovéale (cf. pic vert représentant la densité des cônes au centre de la fovéa, qui s'étend sur 2-3 degrés d'angle). Cela explique que c'est dans la fovéa que les informations précises sont traitées.

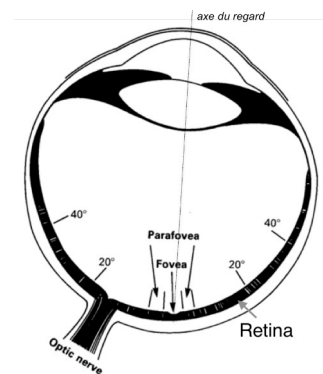


Figure 1.9. Schéma anatomique de l'œil (vue de dessus, en coupe)

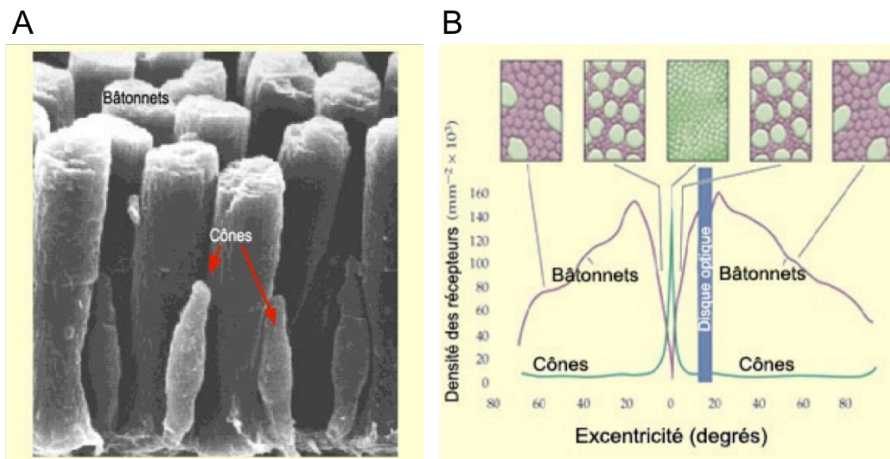


Figure 1.10. Photo (A) et graphique de répartition (B) des cônes et bâtonnets présents sur la rétine

BON A SAVOIR

Pour vous donner un idée, voici quelques chiffres concernant les longueurs et tailles en centimètres, nombre de caractères, et degrés d'angle

- **Zone fovéale centrale sans bâtonnets :**
 - 1°-2° d'angle
 - Environ 0.5-1 cm à une distance de 30 cm
 - Soit à peu près 3-6 caractères
- **Zone fovéale :**
 - 4° d'angle
 - Environ 2 cm à une distance de 30 cm
 - Soit à peu près 12 caractères
- **Zone fovéale + parafovéale :**
 - 10° d'angle
 - Environ 5 cm
 - Soit à peu près 30 caractères

Conventionnellement, les mesures de longueur de saccades et de taille d'empan se font en nombre de caractères (espaces inclus) et non en degrés d'angle, même si de premier abord, les mesures en degrés d'angle semblent plus précises (l'oeil tourne sur un axe, donc la distance entre deux positions de l'oeil devrait se mesurer en distance angulaire).

2.2.2. Conséquences ?

La conséquence immédiate de cette organisation des cellules sur la rétine est que l'**acuité visuelle** varie en fonction de l'excentricité de la position du regard par rapport à la fovéa. L'acuité visuelle désigne ici l'efficacité de la prise d'information visuelle : on ne va pas percevoir avec la même efficacité un mot ou une lettre qui est excentré de 1, 5 ou 10 degrés d'angle par rapport à notre position du regard.

Comment mesurer l'acuité visuelle ? La situation expérimentale typique consiste à présenter une lettre en vision centrale (projection au centre de la fovéa) et une seconde légèrement excentrée, à gauche ou à droite (par exemple 1° d'angle). Tout en gardant toujours son regard fixé sur la lettre en position centrale, le participant doit dire si la lettre en position excentrée est la même ou pas que l'autre. Lorsque l'écart n'est que d'un degré d'angle, on s'attend à ce que la performance du participant soit bonne. Par contre, que pensez-vous qu'il se passe quand la seconde lettre est plus excentrée (par exemple 5, 8, 10 ° d'angle) ? Les résultats sont présentés Figure 1.11. On voit que les performances chutent drastiquement dès que la lettre est excentrée de simplement deux degrés d'angle. Ce type de résultats démontre que nous captions précisément de l'information concernant le stimulus sur lequel notre regard se porte, mais beaucoup moins sur un stimulus qui se trouve un petit peu écarté de l'axe du regard.

Cette organisation du système visuel pose au moins trois questions importantes, que l'on va aborder au fur et à mesure de ce chapitre :

- *Quelle est l'information prélevée au cours d'une fixation ?* Notamment : quelle est l'étendue de cette information prélevée ? (3, 5, 10, 20, 30 caractères ?), Quelle est la nature de cette information ? Est-ce qu'il y a des facteurs limitants ?
- *Comment les informations sont intégrées lors des fixations successives ?*
- *Comment les déplacements de l'œil sont-ils contrôlés ?* Autrement dit, qui décide de la longueur des saccades (où vais-je ?) et du moment où une saccade est lancée (quand pars-je ?) ?

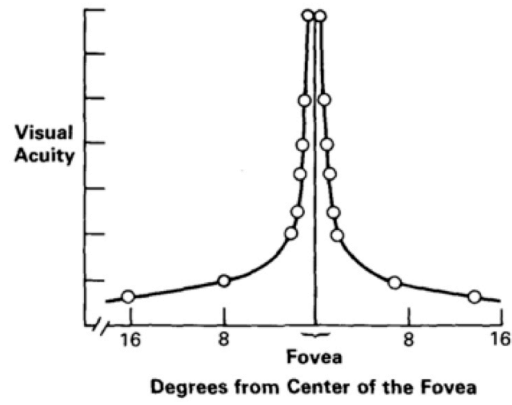


Figure 1.11. Courbe de performance à un test d'acuité visuelle basé sur l'excentricité des stimuli (voir texte pour détails)



– Section 3 –

L'empan perceptif

Comme on l'a vu précédemment, une des questions centrales concernant l'étude des mouvements oculaires est Quelle est l'information prélevée au cours d'une fixation ? Cette question se sous-divise en trois parties : quelle est l'étendue de la zone de prélèvement ? Qu'elle est la nature de l'information prélevée ? et Quels sont les facteurs limitants au prélèvement ? C'est ce que nous allons voir dans cette partie.

3.1. Définition

La notion d'**empan** existe dans différents domaines (par exemple, on parle d'empan mnésique dans le domaine de la mémoire, d'empan visuel dans le domaine de la vision). D'une manière générale, l'empan est une **mesure de l'étendue**. Plus précisément, l'empan perceptif (*perceptual span* en anglais) est l'étendue de la zone de prélèvement de l'information visuelle au cours d'une fixation.

En s'intéressant à l'empan perceptif, on répond à cette question : Si je fixe un point sur la page, quelle est l'étendue dans laquelle je peux prélever de l'information sur la page ? Pour répondre à cette question, il existe différentes techniques pour mesurer l'empan perceptif, qui ont évolué avec les développements technologiques.

3.2. Techniques de mesure

3.2.1. Techniques anciennes

Historiquement, la taille de l'empan de l'information prélevée au cours d'une fixation est une question qui se pose depuis le moment où l'on a enregistré les premiers mouvements oculaires. Dans les années 1940-50, la technique utilisée pour mesurer l'empan consistait, assez naturellement, à essayer de simuler artificiellement ce qu'il se passe dans une fixation.



Figure 1.12. Une expérience de perception visuelle avec tachistoscope dans les années 1950.

Comment faire cela ? En présentant une information visuelle (par ex., une ligne de texte), pendant un temps limité. C'est ce qu'on appelle une **présentation visuelle tachistoscopique**. Un **tachistoscope** est un appareil qui permettait de faire des présentations rapides de stimuli, de l'ordre de quelques centaines de millisecondes (Figure 1.12). Les tachistoscopes ont depuis été remplacés par des programmes de stimulation expérimentale tournant sur des ordinateurs, mais que ce soit des ordinateurs ou des tachistoscopes, le principe est le même : on présente très brièvement une suite de lettres sur l'écran et on mesure ce que le lecteur est capable de rapporter. L'intérêt de faire une présentation rapide des stimuli est de simuler artificiellement la durée d'une fixation (~ 250 msec).

Dans cette situation, on observe que les résultats varient massivement selon la nature des stimuli présentés. Si l'on présente des lettres au hasard, les participants sont capables de rapporter environ 6 lettres. Par contre, si l'on flash des suites de mots, ils rapportent environ 3-4 mots soit 15-20 lettres ! D'où la question suivante : Quelle est la bonne mesure ? Autrement dit : Est-ce qu'il faut mesurer l'empan sur des suites de lettres, des mots ou sur des phrases ? La réponse actuelle à cette question est qu'aucune de ces techniques de présentation visuelle rapide n'est satisfaisante. Il y a plusieurs raisons à cela :

- Ces méthodes ne permettent pas d'avoir une bonne mesure de l'information qui est prélevée. Il est impossible de déterminer si les effets sont dus au prélèvement de l'information (= ce qu'on veut mesurer) ou aux capacités de mémoire ou à des stratégies de devinement. En effet, d'une part, ces techniques ne permettent pas de distinguer les effets de perception et les effets de mémoire (il faut retenir la séquence pour pouvoir la rapporter). D'autre part, le rôle de l'élaboration et du devinement n'est pas pris en compte (ce n'est pas étonnant qu'on soit meilleur quand ce sont des mots qui sont présentés, puisque même si l'on n'en voit qu'une partie, on peut deviner leur identité).
- Une autre critique est que dans la lecture, le temps de stimulation est limité (une fixation dure ~ 250 msec), mais le temps de traitement est également limité (une fois qu'on a fixé un mot, on est déjà en train d'en fixer un autre, etc...). Or ces tâches de report de lettres ne ressemblent pas du tout à une situation de lecture (on a tout le temps nécessaire pour rapporter l'information) et sont donc écologiquement peu valides.

La raison pour laquelle nous expliquons ici en quoi ces premières méthodes sont peu valides et pas très intéressantes, est que paradoxalement, elles sont en partie à la base d'affirmations qu'on trouve encore dans certains documents, textes, publicités,... sur la perception visuelle en lecture : *“Quand on flash 3-4 mots au hasard, alors on peut les reconnaître d'un coup. Si ce sont des mots liés, on peut même en reconnaître 6 ou 7 d'un coup, donc cela veut bien dire qu'en une seule fixation, on peut lire quasiment toute une ligne de texte”*. Ce type d'affirmation est considéré comme incorrect par la communauté scientifique depuis qu'on a mis au point des techniques plus valides pour mesurer l'empan perceptif. Ainsi, plusieurs années après l'utilisation de présentation tachistoscopique, il a été développé une nouvelle technique par McConkie et Rayner (1975) –la technique de la fenêtre mobile–, qui présente l'avantage d'être plus naturelle et beaucoup plus proche de la situation réelle de lecture.

```

fix. 1 To completexx xxxxxxxx xxxx xx xx xxxx xx xxxx
      12345*12345
fix. 2 xx xxxxxxxxely analyze xxxx xx xx xxxx xx xxxx
      12345*12345
fix. 3 xx xxxxxxxxxxx xxxxyze what we xx xxxx xx xxxx
      12345*12345
fix. 4 xx xxxxxxxxxxx xxxxxxx xxxx we do when xx xxxx
      12345*12345
fix. 5 xx xxxxxxxxxxx xxxxxxx xxxx xx xx xhen we read
      12345*12345

```

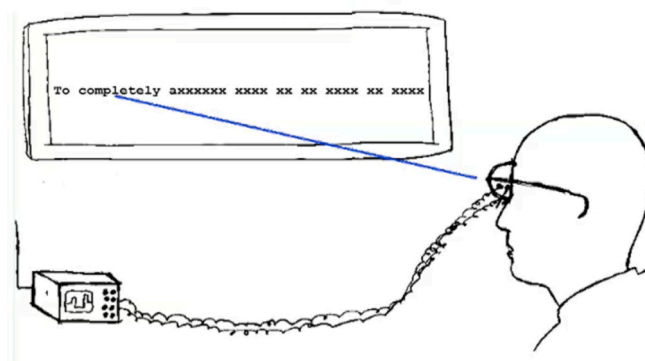
Figure 1.13. Exemple de fenêtre mobile. Ici, la taille de la fenêtre est de 11 caractères. L'étoile représente le point de fixation. La fenêtre s'étend sur 5 caractères à gauche et à droite du point de fixation. On peut noter que dans cet exemple le masque (xxx) ne masque pas tout puisque les espaces restent apparents. Cette information est susceptible d'être utilisée par le système de lecture.

3.2.2. Techniques de la fenêtre mobile

Cette technique permet de mesurer la quantité d'information prélevée lors d'une fixation, tout en étant beaucoup plus naturelle et plus proche de la situation réelle de la lecture que l'utilisation d'un tachistoscope. Le principe de la **fenêtre mobile** est de 'mettre des œillères' au lecteur lorsqu'il lit, de façon à ce qu'il ne puisse voir à chaque instant qu'une seule partie de la ligne. Les frontières des œillères est ce que l'on appelle la fenêtre, et cette fenêtre va bouger au fur et à mesure de la lecture. Comment est-ce que cela fonctionne ? On demande au participant de lire un texte ou une phrase :

- D'une part, l'ordinateur contrôle l'affichage, et d'autre part, il enregistre en permanence la direction du regard. Il est donc capable à chaque millième de secondes de dire précisément quel est l'endroit qui est fixé sur la page
- En fonction de cette information, l'ordinateur va modifier l'affichage sur l'écran. A chaque saccade, l'affichage est modifié de telle sorte que seule une zone de n caractères autour du point de fixation soit préservée.
- Le reste de la ligne est éliminé (par ex. remplacé par des x)

Un exemple (au ralenti) vous est donné dans la Vidéo 1.4. Un autre exemple est donné dans la Figure 1.13. Ce type de technique fait partie des **techniques de présentation visuelle contingente**, car la présentation est contingente à la direction du regard.



Vidéo 1.4. Principe de la fenêtre mobile. Comme l'ordinateur peut déterminer que ce sont les alentours de la lettre L qui sont fixés, il va reformer l'affichage de façon à laisser une fenêtre d'une vingtaine de caractères autour du point de fixation. Lorsqu'il y a une saccade, l'ordinateur anticipe le point d'atterrissage et c'est pendant la saccade que l'affichage est modifié de façon à ce que la fenêtre soit modifiée à la fixation suivante. Donc pendant les 20-35 msec pendant lesquelles les yeux se déplacent, l'ordinateur calcule et transforme l'affichage.

3.3. Mesure de l'empan perceptif

a) Mesure avec la technique de la fenêtre mobile

Méthode. Avec cette technique de la fenêtre mobile, comment mesurer l'empan perceptif pendant la lecture ? La méthode utilisée consiste à faire varier la taille de la fenêtre en allant d'une fenêtre tellement large (~ 80 caractères) qu'elle laisse toute la ligne visible (équivalent à une absence de fenêtre) jusqu'à une fenêtre très étroite, disons de 5 caractères. On demande au participant de lire silencieusement le texte ou le paragraphe, présenté ligne par ligne. On mesure alors deux choses : la vitesse de lecture du participant et sa compréhension du passage à lire (afin de s'assurer qu'il a correctement lu).

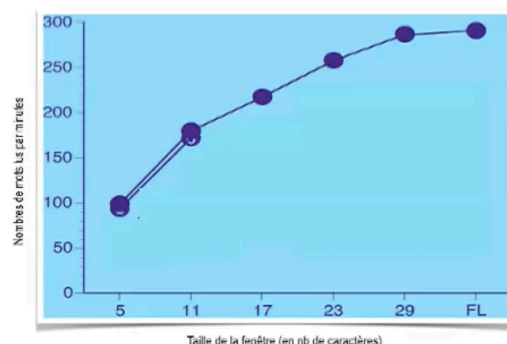
La variable critique est la vitesse de lecture, et le raisonnement est le suivant : si la fenêtre est plus grande que l'empan perceptif, la lecture ne devrait pas être affectée, car toute l'information nécessaire peut être captée. Par contre, si la fenêtre de visibilité est plus petite que la zone de prélèvement, la lecture devrait devenir plus difficile. Autrement dit, à partir du moment où la fenêtre devient plus petite que la zone dans laquelle on peut normalement prélever de l'information, on devrait voir un ralentissement de la lecture. En effet, imaginez que vous deviez lire un texte dans lequel à chaque fixation, vous ne pouvez voir que 3-4 caractères à la fois (même pas un mot entier) : il y a de fortes chances pour que vous soyez gêné.e pour lire. Avec cette technique, ce qui nous intéresse ici est donc la valeur de l'empan à partir de laquelle la vitesse de lecture se dégrade.

Résultats. Dans les premières études (McConkie & Rayner, 1975), les résultats ont montré que la taille de la fenêtre n'affectait pas la compréhension. Autrement dit, que la fenêtre laisse visible 5 ou 80 caractères, le degré de compréhension des textes était similaire. Cependant –et c'est le plus important–, la vitesse de lecture était ralentie pour des fenêtres plus petites que 31 caractères. Par contre, que la fenêtre soit de 32 ou de 80 caractères, la vitesse de lecture était la même. Les conclusions des auteurs sont donc que :

- L'information visuelle au-delà de 15 caractères à gauche et à droite n'est pas prise en considération
- Toute l'information utile est située au plus dans une zone de ~30 caractères autour du point de fixation.

Par après, d'autres études utilisant la technique de la fenêtre mobile ont montré que la taille de l'empan perceptif varie en fonction de l'expertise en lecture. Notamment, la taille de la fenêtre est plutôt aux alentours de 23 caractères chez les enfants de primaire (voir Vidéo 1.5).

L'empan perceptif augmente avec l'âge/le niveau de lecture.



Vidéo 1.5. Taille de l'empan perceptif : comparaison adulte / enfant


```
would almost be the acme of a psychologist's
*
would almost be the acme of a psychologist's
*
would almost be the acme of a psychologist's
*
would almost be the acme of a psychologist's
*
```

```
xxxxld almost be the acme of a psychologist's
*
xxxxx xxxxt be the acme of a psychologist's
*
xxxxx xxxxxx xx the acme of a psychologist's
*
xxxxx xxxxxx xx xxx xxx xf a psychologist's
*
```

Figure 1.14. Exemple de phrases avec une fenêtre mobile à droite (en jaune) ou à gauche (en bleu)

b) Variante 1 : Fenêtre à gauche / droite

Les travaux suivants ont cherché à mieux comprendre la nature de l'information prélevée dans cette zone de 30 caractères et la façon dont elle était prélevée. Une façon de faire cela a été d'utiliser des variantes de la fenêtre mobile. En effet, Rayner et al. (1980) ont eu l'idée de manipuler séparément l'étendue de la fenêtre à gauche et à droite. Sur la Figure 1.14, on voit que dans l'exemple en jaune, la fenêtre est illimitée du côté gauche (tout le début de la ligne est visible), mais il y a une limitation à droite. Dans l'exemple en bleu, c'est l'inverse. La limitation à gauche permet de savoir quelle est l'étendue de la zone de prélèvement de l'information à gauche du point de fixation (quelle quantité d'information à gauche faut-il pour dire à un rythme normal ?) et vice versa pour la droite.

Les résultats avec ce type de situation expérimentale ont montré que l'empan n'est pas symétrique : la nature de l'information prélevée n'est pas exactement la même de chaque côté et on n'extrait pas de l'information sur 15 caractères à gauche et 15 à droite :

- A gauche, environ 4 caractères doivent rester visibles pour que la vitesse de lecture ne soit pas perturbée. Cela correspond plus ou moins au début du mot fixé. Autrement dit, le lecteur traite tous les caractères à gauche du point de fixation de façon à retrouver le début du mot, et s'il y a un mot de plus à gauche, ce n'est pas dans le champ de l'attention.
- A droite, environ 15 caractères doivent rester visibles pour que la vitesse de lecture ne soit pas perturbée. Cette étendue dépasse clairement le mot fixé et suggère que les premières lettres d'un mot partiellement visible (suivant le mot fixé) peuvent être traitées.

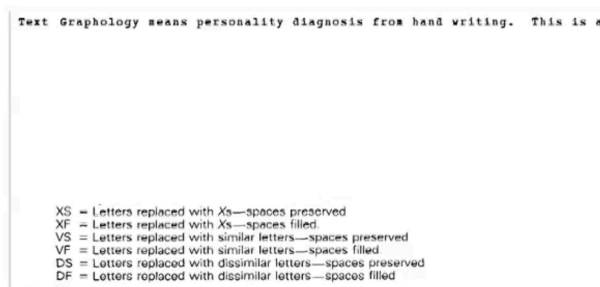
Qu'en est-il pour les langues qui se lisent de droite à gauche (par exemple l'arabe ou l'hébreu) ? Et bien, c'est exactement l'inverse ! L'empan à droite est de 4 caractères environ et l'empan à gauche est de 15 caractères environ. L'asymétrie de l'empan perceptif est donc complètement lié au sens de la lecture. Il est même possible d'observer des changements chez les bilingues. Des bilingues anglais/arabe peuvent avoir une inversion de l'empan en fonction de la langue qu'ils lisent. Cela montre que l'empan n'est pas quelque chose de fixe, mais qu'il est lié à l'attention engagée dans la lecture dans une langue donnée.

EXERCEZ-VOUS !

Sur base de ces résultats, pensez-vous que l'on doit revoir la conclusion émise à la section 3.3.a) ?

c) Variante 2 : Variation du type de remplissage

Maintenant que l'on connaît l'étendue de l'information prélevée, on peut s'interroger sur la nature de l'information prélevée. Pour cela, on peut varier le type de remplissage. Un exemple vous est donné dans la Vidéo 1.6.



Vidéo 1.6. Fenêtre mobile et variation du type de remplissage du masque

L'idée de base des auteurs dans cette expérience était que l'acuité visuelle dans la zone de 15 caractères à droite change graduellement : elle diminue plus on s'écarte du point de fixation (cf. zones fovéale, parafovéale et périphérique). Donc, il est tout à fait possible que sur les 3, 4 ou 5 caractères à droite du point de fixation on puisse identifier les lettres, que sur les suivants on arrive à identifier approximativement les lettres, et que plus loin (13, 14, 15ème caractère) on arrive juste à décider s'il y a une lettre ou pas de lettre (c'est-à-dire qu'on ferait simplement la différence entre un espace et une lettre). C'est effectivement ce qu'ont montré les résultats de l'étude conduite avec les conditions de la Vidéo 1.6 :

- **Préservation des espaces** : Jusqu'à une distance de 15 caractères, la performance est meilleure si les espaces sont préservés. Donc la localisation des espaces est pertinente dans toute la zone de traitement à droite.
- **Préservation de la forme générale des caractères (et des mots)** : Jusqu'à une distance de 10 caractères, la performance est meilleure si la similarité est forte entre les lettres des mots masqués et les lettres formant le masque. Cela montre que la forme des lettres est pertinente dans une zone plus limitée que celle où les espaces sont traités.

EXERCEZ-VOUS !

Parmi les conditions présentées dans la Vidéo 1.6, quelles sont celles qui ont été comparées pour aboutir à ces conclusions selon vous ?

3.4. Conclusion

On peut retenir que l'empan perceptif dépasse la zone fovéale stricte. Il n'est pas déterminé uniquement par les caractéristiques anatomiques du système visuel, puisqu'on observe des variations de l'étendue de l'empan selon l'âge ou la langue par exemple. Enfin, nous avons des indications que des facteurs attentionnels influencent l'empan perceptif. Ainsi des travaux montrent que l'empan est plus petit si le texte est plus difficile, qu'il est plus grand si on lit des textes plus prédictibles. De plus, certains travaux rapportent que la limite à gauche de l'empan est déterminée par la frontière des mots, ce qui suggère ici un mécanisme de sélection attentionnelle.



– Section 4 –

Intégration des informations entre les fixations

On a vu qu'à chaque fixation le lecteur prélève de l'information sur une région qui est à la fois déterminée par l'anatomie du système visuel et par l'attention.

4.1. Comment se déroule l'intégration ?

A chaque fixation, le lecteur prélève des informations sur les lettres dans une zone d'environ 9-10 caractères à droite du point de fixation et de 4 à gauche. En général, l'amplitude des saccades est de l'ordre de 7-9 caractères. Donc les "photos" correspondant à des fixations successives se superposent partiellement. Comment le système perceptif intègre les informations extraites de fixations successives ?

La première hypothèse –simpliste–, est qu'il y aurait une intégration *visuelle*. A la fixation n , on prend une photo de ce qui est perçu (le centre est très net, la périphérie moins). A la fixation suivante $n+1$, on prend une autre photo. Puis la photo 1 et la photo 2 sont mises en correspondance point par point, sur base d'informations visuelles, motrices et proprioceptives (Figure 1.15). Cette idée est simple, donc attractive, mais elle ne marche pas.

Pour invalider cette hypothèse, une autre technique de présentation contingente a été utilisée : la technique de la frontière. Le principe consiste à faire une modification (locale ou globale) de l'affichage

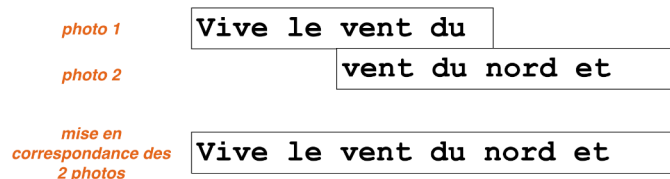
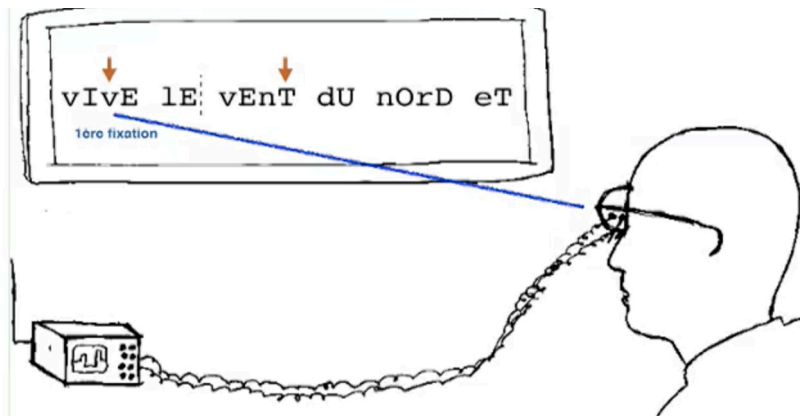


Figure 1.15. Hypothèse d'intégration visuelle



Vidéo 1.7. Technique de la frontière: un exemple avec la casse alternée. Dans cet exemple, on peut voir qu'au passage de la frontière le contenu du texte à lire ne change pas alors que l'information visuelle devient complètement différente.

lorsque le regard passe un certain point sur la ligne durant une saccade (ce que l'on appelle une frontière). On analyse alors les caractéristiques de la dernière fixation avant le changement et les caractéristiques de la fixation immédiatement après le changement.

La Vidéo 1.7 montre un exemple avec le principe de typographie (ou casse) alternée (*alternating case* en anglais). Si on reprend la théorie simple d'intégration visuelle, l'intégration devrait être impossible, puisque l'image a complètement changée entre les deux fixations. La Figure 1.16 montre effectivement comment la superposition des deux images n'est tout simplement pas possible.

Néanmoins, les données ont montré qu'il n'y avait pas d'effet de l'alternance de la typographie : la lecture n'est pratiquement pas ralentie par le changement radical d'alternance de casse entre les 2 fixations. Ce résultat a permis de rejeter l'hypothèse d'intégration visuelle.

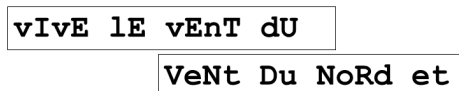


Figure 1.16. Superposition impossible de l'information prélevée dans la situation de casse alternée (cf. Vidéo 1.7)

Les travaux ultérieurs ont conduit à favoriser l'idée que l'intégration entre fixations serait basée sur une représentation plus sophistiquées des lettres en terme d'**identité abstraite** (on y reviendra dans le chapitre 2). L'idée générale est que, à partir de l'information visuelle, le système perceptif fait un travail d'identification des lettres et en fabrique une représentation abstraite (par ex., identification d'un A, indépendamment de la casse, taille ou autre: **A** = *a* = **A** = **A** = A). Autrement dit, le système perceptif traite l'information non plus sur base de la forme particulière des lettres, mais sur leur identité abstraite et sur leur position (= code orthographique abstrait).

4.2. Nature du traitement sur le mot « parafovéal »

On sait que l'empan est plus grand que la longueur moyenne des mots. Les lettres du mot n+1 (le mot à droite du mot fixé) sont donc perçues. Quelle est alors la nature du traitement effectué sur ce mot 'parafovéal' ?

Pour répondre à cette question, les chercheurs ont aussi utilisé la technique de la frontière, mais cette fois-ci avec une modification locale de l'information. Des phrases sont présentées aux participants et ils doivent simplement les lire de façon à les comprendre. Des questions de compréhension sont posées de temps en temps afin de s'assurer que les participants font correctement la tâche. Pendant qu'ils font la tâche, on enregistre leurs saccades et la durée de leurs fixations.

a) Situation expérimentale

Nous allons illustrer cela avec la phrase suivante :

In her hair, the little girl wore a
pretty pink eilhcn that matched her dress

Dans ses cheveux, la petite fille portait un
joli ???? rose assorti à sa robe.

Cette phrase est initialement présentée au participant avec le pseudomot *eilhcn* (un **pseudomot** est un mot qui n'existe pas). Lorsque les yeux du participant fixent le mot précédent (*pink*), le pseudomot est présent, mais dès que les yeux traversent la frontière virtuelle entre *pink* et *eilhcn*, le pseudomot disparaît et est remplacé par *ribbon* (ruban). Le participant ne remarque ni la présence de *eilhcn*, ni son remplacement par *ribbon*. Pour lui, il n'y a eu aucun changement et le mot *ribbon* a toujours été là. On sait néanmoins que lorsque ses yeux fixent *pink*, le système traite aussi de l'information en provenance de *eilhcn*. Une des questions est alors de savoir si (et comment) cette information extraite va faciliter le traitement subséquent de *ribbon*. Dans ce cas, *eilhcn* joue le rôle d'**amorcer preview**, et *ribbon* est la cible. La Vidéo 1.8 met tout cela en image.

Dans ce type d'expérience, c'est la durée des fixations qu'il est intéressant d'analyser, et tout particulièrement :

- La durée de la fixation précédant la frontière, pour voir s'il y a un effet de l'information parafovéale à droite (par ex. *eilhcn*) sur le traitement du mot en fovéa (*pink*).
- La durée de la fixation sur le mot cible (*ribbon*) après le dépassement de la frontière, pour voir s'il y a un effet de pré-traitement de l'amorce preview (par ex. *eilhcn*) sur ce mot cible.

Ces deux effets peuvent être étudiés de façon indépendante. L'hypothèse est que si le lecteur traite un certain type d'information portée par le stimulus placé après la frontière quand il fixe le mot avant la frontière (au delà de l'information relative à la présence de lettres ou d'espaces), cela devrait influencer les temps de fixation. Des variations sont donc attendues selon la nature de l'amorce et selon la distance entre le point de fixation avant la frontière et l'amorce. Dans l'expérience illustrée par la Vidéo 1.8, cinq conditions d'amorces preview ont été utilisées :

- *ribbon* : amorce identique au mot cible (donc le mot est immédiatement visible)
- *ribham* : amorce pseudomot qui ressemble visuellement au mot cible
- *dreams* : amorce mot, mais qui ne colle pas avec le contexte
- *flower* : amorce mot, qui colle avec le contexte, mais qui est moins prédictible
- *fluons* : amorce pseudomot, qui ne ressemble pas au mot cible

In her hair, the little girl wore a
pretty pink eilhcn that matched her

Vidéo 1.8. Situation d'amorçage parafovéal avec la technique de la frontière

b) Résultats

Quand on regarde l'effet de l'amorce sur la fixation AVANT la frontière, on constate que quelle que soit la nature de l'amorce, la durée de fixation est la même. Il n'y a donc pas d'indication claire que le stimulus $n+1$ est identifié lorsque le mot n est fixé. Cela suggère que le traitement est focalisé sur le mot fixé.

On pourrait croire que cela signifie que le mot à droite du stimulus fixé n'est pas identifié, mais les choses sont un petit peu plus compliquées que ça si on regarde la fixation suivante. En effet, la durée de la fixation sur le mot cible *ribbon* est raccourcie si l'amorce était orthographiquement similaire. Autrement dit, les durées de fixation sur *ribbon* sont plus courtes lorsque l'amorce était *ribbon* ou *ribbam* que lorsque l'amorce était *dreams* ou *flower*. Cela montre qu'au moment où l'on identifie *pink*, on prend de l'information sur le mot à droite. L'item qui est en position d'amorce fait l'objet d'un traitement partiel durant la fixation précédente. Donc, tout en identifiant un mot sur lequel porte le regard, on commence à extraire de l'information sur les lettres du suivant.

4.3. Conclusion

Les travaux montrent que l'intégration entre les fixations est basée sur l'identité abstraite des lettres. De plus, on a vu que l'attention est focalisée sur le mot qui est fixé, mais il y a aussi un traitement du mot à droite du mot fixé, avec une extraction partielle d'informations sur les lettres.

Il est à noter que le débat reste entier concernant le traitement effectué sur le mot $n+1$. Il y a un consensus sur le fait que l'information orthographique et phonologique est traitée, mais tout le débat porte sur l'information sémantique. Jusque-là, on pensait que l'information sémantique n'était pas extraite, mais cela est remis en question par des travaux en langue chinoise qui montrent des effets sémantiques. Une différence entre l'anglais et le chinois est qu'en chinois, le mot $n+1$ est plus proche du point de fixation et la relation est plus transparente entre l'écrit et le sens qu'en anglais, ce qui pourrait expliquer cette différence.

mazing birthday party. She baked a huge round chocolate
cake decorated with purple icing. Her brother helped to blow
up colourful balloons and they hung a large banner over the
door. Kate's whole class was invited and they all brought
presents. They played a game of "Pass the Parcel" with a
present wrapped in red paper. Kate enjoyed "Pin the Tail on
the Donkey." Her mum had a large roster of a brown donkey

- Section 5 -

Le contrôle des mouvements oculaires

A chaque fixation, le système perceptif doit décider où aller (progression/régression ?, prochaine fixation sur le mot n , $n+1$, ou $n+2$?, point de chute dans un mot ?) et quand partir. Or le timing est serré pour faire cela ! En effet, la durée de fixation moyenne est de 250 msec. Mais on sait que :

- Le temps de transfert de l'information visuelle de la rétine jusqu'au cortex visuel est de 80 msec environ !
- Les estimations les plus minimalistes du temps nécessaire pour le traitement lexical sont de 150 msec (technique EEG des potentiels évoqués)
- Le délai nécessaire à l'exécution de la commande motrice (du cortex aux muscles) est d'environ 100 msec.
- Donc, la totalité du temps de fixation comprend en fait des phases où le système n'est pas en train de s'occuper directement du mot fixé.

5.1. Quand partir ?

a) Hypothèse du contrôle global

Pendant la première période des travaux, sur base de ce timing hyper serré, les chercheur.es se sont dit qu'il ne pouvait pas y avoir de contrôle précis des mouvements oculaires. La proposition était donc qu'il y aurait un contrôle global. L'idée était qu'il y aurait un système fonctionnant comme un métronome. Il y aurait une espèce d'horloge interne, réglée sur 250 msec, qui déclenche des saccades toutes les 250 msec. C'est donc un réglage interne qui détermine l'amplitude des saccades. Toutes les variations qu'on observe (taille des saccades, durée des fixations) seraient des variations aléatoires. L'horloge serait peu précise en quelque sorte.

On peut imaginer un système un peu plus sophistiqué si l'on accepte l'idée que l'horloge serait paramétrable selon des facteurs globaux (type d'activité, caractéristiques du texte,...). Par exemple, si le texte

est difficile, on pourrait fixer le déclenchement des saccades toutes les 400 msec plutôt que toutes les 250 msec. Le principe important à comprendre dans ce mécanisme est que ce sont des réglages globaux. Néanmoins, même s'il peut effectivement y avoir des mécanismes de contrôle global, on pense que cette explication n'est pas suffisante, la raison étant qu'il existe une série de variations locales. Par exemple, le fait de rencontrer un mot particulièrement long ou inattendu dans un texte facile va immédiatement engendrer un temps de fixation plus long. De même, le simple fait qu'il existe des saccades régressives indique qu'il y a un contrôle local.

b) Hypothèse de contrôle direct

A l'autre extrême, une autre proposition simple a été celle d'un contrôle direct des mouvements oculaires. L'idée ici est qu'à chaque fixation, non seulement on prélève de l'information visuelle pour identifier le mot sur lequel se porte le regard, mais en plus on essaie d'intégrer ce mot avec le contexte de la phrase déjà lue, tout en calculant où ce serait bien d'aller regarder ensuite. C'est ce qu'on appelle l'idée d'*eye mind immediacy*. Il y a une coïncidence supposée entre la prise d'information visuelle et le traitement mental. Cette idée suppose que le traitement linguistique est complet et immédiat, et que sur base du traitement linguistique, il y a une étape supplémentaire de programmation de la saccade. En d'autres termes, le résultat du traitement permet de déterminer le point d'atterrissage visé dans le mot suivant.

Cette théorie est attractive, mais elle ne marche pas non plus. En effet, il y a un certain nombre d'arguments qui montrent qu'on ne fait pas tout le travail d'analyse et d'intégration au cours d'une fixation, mais que cela se poursuit lors des fixations suivantes. Une des démonstrations concerne les effets de débordement (*spillover*). Ces effets montrent que si on rencontre une difficulté locale (un mot inattendu par exemple), cela va provoquer un allongement de la fixation du mot, et cet allongement déborde sur la fixation suivante : le mot suivant est lui aussi fixé plus longtemps. Si le traitement du mot inattendu avait été complet avant le déclenchement de la fixation suivante, le mot n+1 n'aurait pas dû être traité plus longtemps.

c) Hypothèse de contrôle cognitif partiel

On est aujourd'hui dans une position intermédiaire, entre ces deux extrêmes, et les chercheurs parlent plutôt de contrôle cognitif partiel. Cela revient à considérer qu'il y a plusieurs processus simultanés qui sont mis en œuvre. Il y aurait à la fois :

- Une composante du traitement qui porte sur l'analyse visuelle, l'identification des lettres et des mots, etc... (aspects proprement linguistiques),
- Un aspect de traitement qui porte sur la focalisation de l'attention. Lors d'une fixation il y a parfois le temps d'identifier un mot (celui sur lequel porte la fixation), mais il y a aussi éventuellement le temps pour porter son attention sur le mot suivant,
- Et une troisième composante qui s'occupe de la programmation de la saccade

L'idée ici est que ces trois étapes se font en même temps, par des composantes séparées du système qui se parlent les unes avec les autres, et c'est ensemble qu'elles permettent de contrôler les mouvements oculaires.

5.2. Où aller ?

Une autre question concernant le contrôle des mouvements oculaires portent sur la localisation des fixations. En la matière, les travaux ont montré que la localisation des fixations ainsi que l'amplitude des saccades étaient déterminées par les mots eux-mêmes.

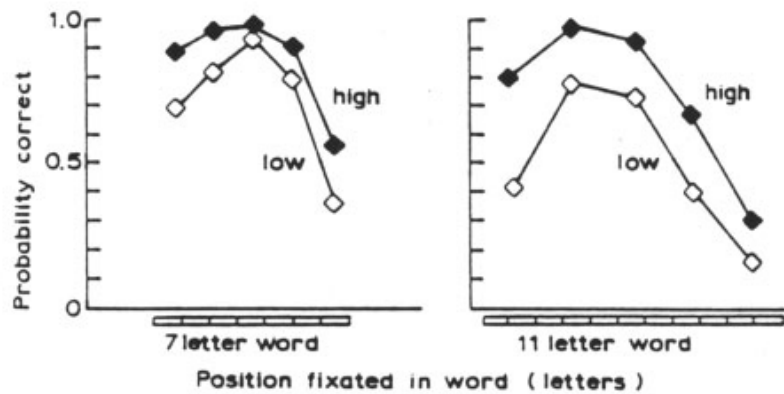


Figure 1.17. Courbes de position optimale de fixation. La probabilité de fixation à 5 positions différentes dans des mots de 7 lettres (gauche) et de 11 lettres (droite). L'OVP (représenté par le pic de la courbe) se situe autour de la 3ème-4ème position pour les mots de 7 lettres et de la 4ème-5ème pour les mots de 11 lettres. High = mots de haute fréquence lexicale, Low = mots de basse fréquence lexicale

a) Quels mots sont fixés ?

Rappelons qu'il y a plusieurs possibilités de fixation lorsqu'une saccade est lancée : les yeux peuvent se poser sur le même mot (refixation), sur le mot suivant $n+1$, sur le mot d'après $n+2$ (on parle de skipping car $n+1$ a été sauté). Les travaux montrent qu'environ 85% des mots de contenu et 40% des mots de fonction (par ex., articles, conjonctions,...) sont fixés. De plus, la probabilité de fixation est influencée par la longueur et la distance de départ, ainsi que par la fréquence du mot et sa prédictibilité au sein de la phrase. Ainsi, les mots moins fréquents ont une plus forte probabilité d'être fixés.

Attention ! L'absence de fixation n'implique pas que le mot sauté n'ait pas été traité. Au contraire, la fixation qui précède un skipping est en moyenne plus longue.

b) Où tombent les fixations ?

Les recherches en mouvements oculaires ont montré de façon répétée et consistante que les yeux se posent en général à mi-chemin entre le début et le centre du mot qui est fixé. Cette **position optimale du regard** (OVP, *optimal viewing position*) correspond donc à la position un peu à gauche du milieu du mot (Figure 1.17). Plusieurs travaux ont montré que cette position serait optimale car elle est la plus informative, c'est-à-dire qu'elle permet de capter le plus efficacement possible des informations pertinentes pour identifier les mots. Effectivement, on sait que dans des langues telles que le français ou l'anglais, c'est le début des mots qui est le plus informatif pour identifier l'identité de mots : avoir une information précise sur le début du mot permet d'activer un plus petit nombre de candidats qu'avoir des informations sur la fin (pensez au nombre de mots commençant par *chap-* qui vous viennent à l'esprit facilement versus le nombre de mots qui finissent par *-eau*). Il est à noter néanmoins que des facteurs tels que la longueur des mots, leur fréquence, ou les habiletés langagières du lecteur modifient la position optimale du regard.



– Section 6 –

Mouvements oculaires et troubles de la lecture

En commençant le cours, nous avons vu qu'il y avait des différences individuelles importantes, notamment entre normo-lecteurs et lecteurs peu avancés. La Figure 1.18 montre un exemple de différences inter-individuelles. L'idée à la base de ce schéma est qu'un lecteur moins avancé ou débutant fait plus de fixations et qu'elles sont plus longues. Par contre, chez un lecteur diagnostiqué comme dyslexique, on aurait des configurations beaucoup plus erratiques.

La question qui émerge avec ce type de résultats est : est-ce que les mouvements oculaires désorganisés sont une cause ou une conséquence des difficultés de lecture ? Autrement dit, est-ce que ce sont les difficultés en lecture qui produisent ces mouvements oculaires erratiques, ou bien est-ce que, parce qu'il y a un désordre au niveau des mouvements oculaires, cela produit des difficultés de lecture ?

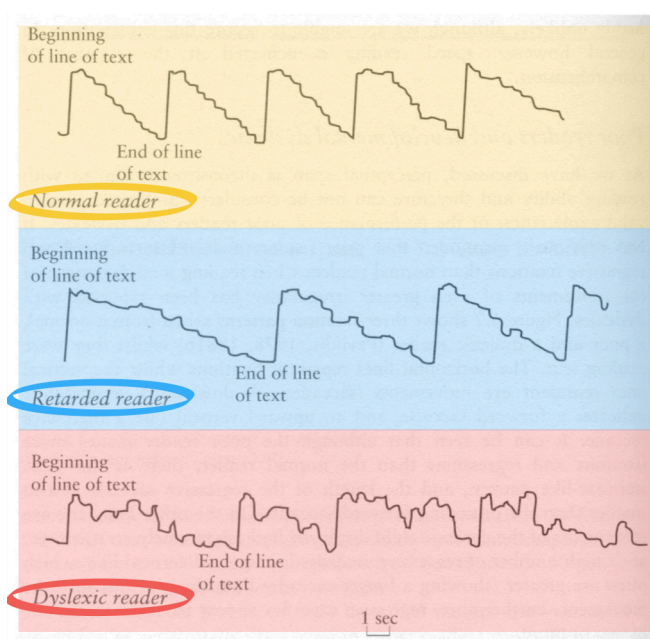


Figure 1.18. Mouvements oculaires de normo-lecteurs, faibles lecteurs et lecteurs dyslexiques (repris de Pavlidis, 1986). Le temps est indiqué horizontalement. Un avancement horizontal de gauche à droite signifie une avancée dans les lignes du texte. Un déplacement vertical du haut vers le bas signifie un déplacement vers la droite sur le texte.

6.1. Argument initial

Un argument en faveur d'une interprétation causale a été proposé par Pavlidis en 1981. Il propose à des normo-lecteurs et des lecteurs considérés comme dyslexiques une tâche de mesure de mouvements oculaires sans matériel linguistique, dans une **tâche de pistage**. Un point lumineux apparaît à un endroit imprévisible sur l'écran et se déplace. La tâche du sujet est simplement de porter son regard sur ce point qui se déplace. Pavlidis (1981) a comparé les performances d'enfants d'une douzaine d'année et a montré que les enfants dyslexiques avaient des configurations de mouvements plus lents et erratiques dans cette tâche de pistage oculo-moteur (Figure 1.19). Cela suggérerait selon lui qu'ils avaient des troubles des mouvements oculaires qui n'étaient pas liés à la lecture : ce ne serait donc pas les troubles de lecture des enfants dyslexiques qui produiraient des mouvements oculaires désorganisés, mais plutôt parce qu'ils ont des mouvements oculaires erratiques qu'ils auraient des troubles de lecture.

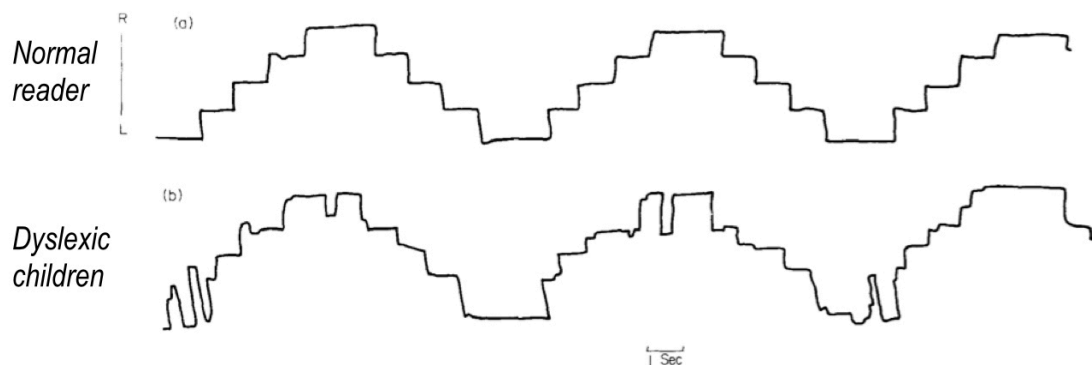


Figure 1.19. Schématisation des mouvements oculaires lors d'une tâche de pistage oculaire sur écran (tiré de Pavlidis, 1981). Sur l'axe horizontal, le temps est représenté. Sur l'axe vertical, les mouvements oculaires allant de gauche à droite sont représentés.

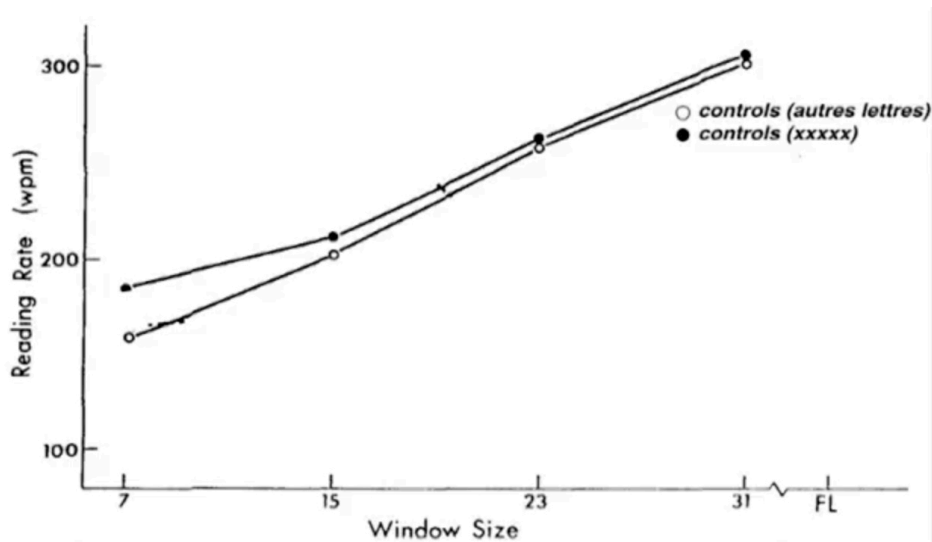
Cependant, ce résultat n'a pas été répliqué par la suite à notre connaissance, laissant ouverte cette question. Notez que c'est un exemple de situation qui n'est pas rare dans l'étude des troubles du développement (un résultat est obtenu mais il n'est pas confirmé par la suite) car comme nous le verrons dans un chapitre ultérieur, il y a énormément d'hétérogénéité dans les groupes d'enfants dyslexiques. Ainsi, il y avait peut-être un biais de sélection dans le groupe d'enfants dyslexiques de Pavlidis (1981), expliquant qu'il ait obtenu ces résultats.

6.2. D'autres pistes

Il n'en reste pas moins qu'il y a toute une série d'éléments qui conduisent à penser qu'il pourrait y avoir des troubles visuels chez les dyslexiques, ou tout du moins, chez certains dyslexiques.

Parmi les hypothèses possibles, il y a celle d'un dysfonctionnement visuo-moteur lié à la voie magnocellulaire. Cela conduirait à des difficultés générales dans le domaine de la vision, qui aurait des répercussions importantes pour la lecture : instabilité des fixations, problèmes de convergence (enfants qui louchent) et difficulté de poursuites visuelles.

Selon une autre piste, les difficultés des dyslexiques seraient liées non plus à la prise d'information, mais à l'attention visuelle notamment, qui serait déficitaire. Cette hypothèse d'un trouble de focalisation de l'attention est concordante avec des descriptions en pathologie neuropsychologique où des troubles attentionnels chez les dyslexiques ont été rapportés. Une illustration de cela est donnée par le cas S. J., rapportée par Rayner et collaborateurs (1989). Cette étude est une étude de cas qu'ils ont réalisé chez un collègue de Rayner, nommé S.J.



Vidéo 1.9. Performances du cas S.J. dans une tâche d'empan perceptif

S. J. était professeur d'université et avait eu une histoire de dyslexie dans son enfance. Effectivement, même à l'âge adulte, il avait une compréhension orale qui était très nettement supérieure à sa compréhension lors de la lecture. Ses difficultés étaient donc spécifiques au traitement de l'écrit (définition même de la dyslexie). Dans le cadre de l'étude, S. J. a passé un certain nombre d'épreuves, dont une épreuve d'empan perceptif telle que présentée précédemment. La Vidéo 1.9 présente les résultats très intéressants et paradoxaux qui ont été obtenus.

Ces résultats suggèrent que S. J. aurait un déficit d'attention sélective. L'information parafovéale produit une interférence lors de la lecture (notamment dans le cas d'un masque de lettres aléatoires). Cela expliquerait que la performance augmente lorsque la taille de la fenêtre est réduite avec le masque xxxx. Dans ce cas, l'information hors de la fenêtre est non pertinente, donc pas ou peu interférente.

PhotoReading®

“The Ferrari of Reading”



– Section 1 –

Et la lecture rapide ?

On trouve dans les médias, sur internet, ... des publicités ou annonces sur la lecture par photographie (**photoreading**) qui est une ‘*méthode de lecture phénoménale qui bouleverse nos croyances les plus profondes*’ selon la publicité et qui vous permet non seulement de lire plus vite (25,000 mots par minute, au lieu de 300) mais en plus d’être mieux dans votre peau et de réussir votre vie (toujours selon la publicité) (voir Vidéo 1.10).

Avec ce que nous venons de voir, vous devriez être en mesure d’avoir de sérieux doutes envers ce type de publicité. Néanmoins, cela soulève une vraie question : est-ce qu’on peut, par apprentissage et entraînement, améliorer sa vitesse de lecture ou la taille de son empan perceptif ? Et si oui, jusqu’à quel point ? Curieusement, peu d’études se sont intéressées à cette question, mais voici l’une d’entre elles qui a testé l’effet d’un entraînement (Calef, Pieper, & Coffey, 1999). Deux groupes d’adultes ont participé. Ils ont passé un pré-test pour s’assurer qu’ils étaient équivalents en terme de nombre et durée de fixations, nombre de régressions, vitesse de lecture et compréhension de textes (voir Figure 1.20). A la suite de cela, le groupe expérimental recevait un entraînement pour améliorer sa vitesse de lecture à raison de 3 à 5 séances de cours par semaine pendant 6 semaines. Après cela, les mouvements oculaires des participants des deux groupes (contrôle et expérimental) ont été enregistrés lorsqu’ils lisaient de courts passages de texte. La compréhension était également évaluée, via dix questions vrai ou faux.

Les résultats sont présentés sur la Figure 1.20. Ils montrent que le groupe expérimental après entraînement a amélioré 5 des 6 aspects des mouvements oculaires (moins de fixations, durée plus courte, plus grande vitesse de lecture, ...). Deux autres points sont importants à noter :



Vidéo 1.10. Extraits de publicités pour la ‘lecture par photographie’

		Prétest	Posttest
Fixations/ 100 mots	Exp	94.6	71.0
	Ctrl	93.0	88.4
Régressions/ 100 mots	Exp	16.88	6.16
	Ctrl	14.18	7.30
Durée des fixations	Exp	241	228
	Ctrl	244	241
Mots/min	Exp	277.6	404.5
	Ctrl	280.6	295.9
Compréhension	Exp	80.8	73.6
	Ctrl	77.6	79.4

Figure 1.20. Résultats au pré-test (gauche) et post-test (droite) pour les deux groupes de participants (exp = groupe expérimental qui a suivi l'entraînement; ctrl = groupe contrôle sans entraînement) (repris de Calef et al., 1999)

- La vitesse de lecture a augmenté pour le groupe expérimental, mais le score de compréhension a diminué (bien que la différence n'atteigne pas le taux de significativité statistique). Tout se passe comme s'il y avait une relation d'échange : une lecture plus rapide s'accompagne d'une moindre compréhension.
- L'amélioration de la vitesse est autour de 400 mots par minute au lieu de 275. On est donc bien loin des 25,000 mots par minute clamés par les publicités de photoreading..

ET VOUS, QU'EN PENSEZ-VOUS ?

Tapez 'speed reading' ou 'photoreading' ou encore 'lecture rapide' dans un moteur de recherche, et lisez les arguments et descriptions données. Au vu de tout ce que vous avez appris dans ce chapitre, qu'en pensez-vous ? Relevez ce qui vous semble correct ou incorrect.



ARE YOU READY?

- ▷ Je sais décrire les techniques actuelles d'enregistrement des mouvements oculaires
- ▷ Je sais lire un graphique de résultats de mouvements oculaires
- ▷ Je sais donner les caractéristiques des saccades, des fixations et de l'empan perceptif
- ▷ Je sais expliquer ce qu'est l'empan perceptif et la manière dont on le mesure
- ▷ Je suis capable d'expliquer la méthode de la fenêtre mobile à l'aide d'un exemple d'expérience
- ▷ Je sais expliquer pourquoi l'hypothèse d'intégration visuelle des données entre fixations peut être remise en question
- ▷ Je suis capable d'expliquer la technique de la frontière à l'aide d'un exemple d'expérience
- ▷ Je sais expliquer les points forts et les points faibles des différentes hypothèses de contrôle oculaire
- ▷ Je sais donner les caractéristiques de la localisation des fixations
- ▷ Je sais expliquer le débat qu'il existe entre irrégularités des mouvements oculaires et troubles de lecture

~



RÉFÉRENCES

- Calef, T., Pieper, M., & Coffey, B. (1999). Comparisons of eye movements before and after a speed-reading course. *Journal of the American Optometric Association*, 70(3), 171–181.
- McConkie, G. W., & Rayner, K. (1975). The span of the effective stimulus during a fixation in reading. *Perception & Psychophysics*, 17(6), 578–586. <https://doi.org/10.3758/BF03203972>
- Pavlidis, G. T. (1981). Do eye movements hold the key to dyslexia? *Neuropsychologia*, 19(1), 57–64. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(81\)90044-0](https://doi.org/10.1016/0028-3932(81)90044-0)
- Rayner K, Li X, Pollatsek A. Extending the e-z reader model of eye movement control to chinese readers. *Cognitive Science*. 31: 1021-33. DOI: 10.1080/03640210701703824
- Rayner, K., Well, A. D., & Pollatsek, A. (1980). Asymmetry of the effective visual field in reading. *Perception & Psychophysics*, 27(6), 537–544. <https://doi.org/10.3758/BF03198682>
- Rayner, K., Murphy, L. A., Henderson, J. M., & Pollatsek, A. (1989). Selective attentional dyslexia. *Cognitive Neuropsychology*, 6(4), 357–378. <https://doi.org/10.1080/02643298908253288>

~