



HAL
open science

Empan perceptif en lecture et en recherche d'information dans un texte : influence des signaux visuels

Fabrice Cauchard

► **To cite this version:**

Fabrice Cauchard. Empan perceptif en lecture et en recherche d'information dans un texte : influence des signaux visuels. Psychologie. Université Toulouse le Mirail - Toulouse II, 2008. Français. NNT : . tel-00342146

HAL Id: tel-00342146

<https://theses.hal.science/tel-00342146>

Submitted on 26 Nov 2008

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

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



THÈSE

En vue de l'obtention du

DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE

Délivré par *l'université Toulouse-le-mirail*
Discipline ou spécialité : *Psychologie Cognitive*

Présentée et soutenue par *Fabrice Cauchard*
Le 26 Septembre 2008

Titre : *Empan perceptif en lecture et en recherche d'information dans un texte :
influence des signaux visuels*

JURY

Thierry Baccino : Professeur, Université de Nice - Sophia Antipolis, Rapporteur
Jean-Marie Cellier : Directeur d'étude, EPHE, Directeur de thèse
Hélène Eyrolle : Maître de Conférences HDR, Université de Toulouse, Tutrice
Jukka Hyönä : Directeur de recherche, Université de Turku, Assesseur
Patrice Terrier : Professeur, Université de Toulouse, Président
Charles Tijus : Professeur, Université Paris VIII, Rapporteur

Ecole doctorale : *CLESCO*
Unité de recherche : *CLLE-LTC*
Directeur(s) de Thèse : *Jean-Marie Cellier et Hélène Eyrolle*
Rapporteurs : *Thierry Baccino et Charles Tijus*

Remerciements

Je tiens à exprimer toute ma gratitude à mes directeurs, Jean-Marie Cellier et Hélène Eyrolle, pour leur encadrement, leur soutien, et la disponibilité dont ils ont fait preuve tout au long de la réalisation de ce travail. Je leur suis particulièrement reconnaissant de m'avoir encadré et soutenu en m'offrant une certaine liberté au niveau scientifique.

Je remercie Jukka Hyönä d'avoir accepté de m'accueillir dans son université au cours de ma deuxième année de doctorat. Je lui témoigne tout le plaisir que j'ai à collaborer avec lui. Je salue Johanna Kaakinen, Raymond Bertram, Seppo Vainio et tous les membres du laboratoire de recherche sur le langage, l'attention et la mémoire de Turku.

Mes remerciements vont aussi à Eric Raufaste sans qui ce travail de recherche n'aurait pas été possible. Je suis notamment redevable à Eric Raufaste de la réalisation experte du dispositif de fenêtre mobile utilisé dans cette thèse.

Un grand merci aux personnes qui m'ont aidé à dépasser tous les aléas techniques rencontrés pendant la réalisation de ce travail : Eric Raufaste, Brigitte Roc, Arnaud Sevin, Stéphane Lachkar, Edyta Bellouni et Virginie Féraud.

Je remercie Robert Lorch et Patrice Terrier pour leurs précieuses remarques qui m'ont aidé à préciser et à clarifier mes objectifs de recherche au début de cette thèse.

Je remercie aussi chaleureusement les membres du laboratoire CLLE-LTC et les deux cent douze personnes qui ont accepté de me donner un peu de leur temps pour participer à mes expériences.

Enfin, j'adresse un immense merci à mes parents, mon frère, son épouse et toutes les personnes qui m'entourent au quotidien et pour qui j'ai une profonde affection.

Résumé

Cette thèse examine l'influence des signaux visuels (e.g. titres, marques de paragraphe) sur l'empan perceptif en lecture et en recherche d'information dans un texte. L'empan perceptif se définit comme la région du champ visuel autour du point de fixation à l'intérieur de laquelle de l'information utile est extraite. Il est communément admis que la taille de cet empan est très limitée : il ne s'étendrait pas, verticalement, au-delà de la ligne fixée en lecture et au-delà de deux lignes supplémentaires dans une tâche de recherche. L'hypothèse centrale à l'origine de cette thèse est que l'empan perceptif peut s'étendre au-delà des régions antérieurement définies lorsque le texte contient des signaux visuels. Trois expériences utilisant la technique de la fenêtre mobile ont été menées pour tester cette hypothèse. Dans les trois expériences, des textes expositifs contenant des signaux visuels ont été présentés soit en plein écran, soit à travers une fenêtre mobile (continuellement centrée sur les points de fixation) au-delà de laquelle le texte disparaissait. Cette fenêtre mobile n'avait pas de limite horizontale et était assez haute (3° d'angle visuel) pour contenir deux ou trois lignes supplémentaires en plus de la ligne fixée. Dans les deux premières expériences, les participants devaient lire les textes pour en rappeler le contenu. Dans la troisième expérience, les participants devaient chercher dans le texte la réponse à des questions spécifiques. Dans les trois expériences, on observe une perturbation de l'activité en présence de la fenêtre. Dans la première expérience, cette perturbation se traduit par une diminution des temps de relecture et par un rappel plus faible des thèmes du texte. Dans la deuxième expérience, on observe une diminution des temps de relecture, un ralentissement général du rythme de lecture, et un rappel plus faible de l'organisation hiérarchique des thèmes. Dans la troisième, on observe un ralentissement général de l'activité de recherche d'information. Ces résultats suggèrent que de l'information relative aux signaux visuels peut être perçue au-delà des régions antérieurement définies. Une nouvelle notion théorique, *l'empan typographique*, est proposée sur la base de ces résultats. Cet empan, d'une taille plus importante que l'empan perceptif traditionnellement délimité pour la perception des lettres et des mots, comprendrait toutes les informations typographiques perçues autour du point de fixation et utiles à l'activité (e.g. lecture, recherche d'information).

Mots-clés : mouvements oculaires, empan perceptif, lecture, compréhension de texte, recherche d'information, signaux visuels

Abstract

This research investigates the effect of visual signals (e.g. headings, paragraph marks) on the perceptual span in reading and text search. The perceptual span refers to the region around a fixation point from which useful information can be obtained. It is commonly assumed that the size of the span is very limited: it does not extend vertically beyond the fixated line in reading and beyond two lines in addition to the fixated line in text search. The main hypothesis of the doctoral dissertation is that the perceptual span can extend beyond the previously delimited regions when the text contains visual signals. Three experiments using the gaze-contingent window technique were carried out in order to test this hypothesis. In the three experiments, expository texts containing visual signals were presented either in full screen or through a gaze-contingent window (continually centred on the fixation points) beyond which the text disappeared. The gaze-contingent window had no horizontal limits and was wide enough (3° of visual angle) to contain two or three lines in addition to the fixated line. In the first and second experiments, the participants had to read the text in order to provide a written recall afterwards. In the third experiment, the participants had to search the text to find answers to specific questions. In all three experiments, we observed that the activity was disturbed in the presence of the gaze-contingent window. In the first experiment, the window decreased the rereading times and impaired the recall of the text topics. In the second experiment, the window decreased the rereading times, slowed down the overall reading rate, and impaired the recall of the hierarchical organisation of the text topics. In the third experiment, the window increased the overall time spent searching the text. This suggests that some information related to the visual signals can be perceived beyond the previously defined regions. A new theoretical concept, *the text layout span*, is proposed on the basis of these results. This span, wider than the perceptual span traditionally delimited for word and letter identification, would include all the typographical information perceived around the fixation point and useful for the activity (e.g. reading, text search).

Keywords: eye movements, perceptual span, reading, text processing, text search, visual signals

Sommaire

Introduction générale.....	1
1. Introduction théorique.....	5
1.1. CARACTERISTIQUES GENERALES DES MOUVEMENTS OCULAIRES.....	6
1.1.1. Saccades et fixations.....	6
1.1.2. Champ visuel et acuité.....	7
1.1.3. Mouvements oculaires et attention.....	7
1.2. EMPAN PERCEPTIF ET GUIDAGE OCULAIRE EN LECTURE.....	8
1.2.1. La technique de la fenêtre mobile.....	8
1.2.2. Les limites horizontales de l'empan perceptif en lecture.....	10
1.2.3. La composante cognitive de l'empan perceptif.....	11
1.2.4. Les limites verticales de l'empan perceptif en lecture.....	12
1.2.5. L'empan perceptif en recherche visuelle dans un texte.....	15
1.2.6. Limite des études antérieures sur l'empan perceptif en lecture	17
1.2.7. Les modèles du guidage oculaire en lecture.....	19
1.3. SIGNAUX VISUELS ET COMPREHENSION DE TEXTES EXPOSITIFS.....	23
1.3.1. La compréhension de textes expositifs.....	23
1.3.2. Effet des signaux visuels sur la compréhension de textes expositifs.....	27
1.3.3. Effet des signaux visuels sur la recherche d'information dans un texte expositif..	31
1.4. SYNTHESE ET PROBLEMATIQUE GENERALE.....	35
2. Expérimentations.....	37
2.1. EXPERIENCE 1 : LIMITES VERTICALES DE L'EMPAN PERCEPTIF EN LECTURE : LE CAS D'UN TEXTE SIGNALE.....	38
2.1.1. Introduction.....	38
2.1.2. Méthode.....	40
2.1.3. Résultats.....	44
2.1.4. Discussion.....	48
2.2. EXPERIENCE 2 : LIMITES VERTICALES SUPERIEURES ET INFERIEURES DE L'EMPAN PERCEPTIF EN LECTURE AVEC UN TEXTE SIGNALE.....	50
2.2.1. Introduction.....	50
2.2.2. Méthode.....	53

2.2.3. Résultats.....	56
2.2.4. Discussion.....	67
2.3. EXPERIENCE 3 : EFFET DES SIGNAUX VISUELS SUR L'EMPAN PERCEPTIF LORS DE LA RECHERCHE D'INFORMATION DANS UN TEXTE.....	72
2.3.1. Introduction.....	72
2.3.2. Méthode.....	76
2.3.3. Résultats.....	79
2.3.4. Discussion.....	84
3. Discussion générale et perspectives.....	86
3.1. RAPPEL DES OBJECTIFS DE RECHERCHE ET PLAN DE LA DISCUSSION....	87
3.2. CONTRIBUTION THEORIQUE A L'ETUDE DE L'EMPAN PERCEPTIF : L'EMPAN TYPOGRAPHIQUE.....	87
3.3. PRINCIPALES LIMITES ET PERSPECTIVES DE RECHERCHE.....	91
3.4. INTERETS APPLIQUES ET PERSPECTIVES DE RECHERCHE.....	96
3.4.1. L'espace interligne dans un texte.....	96
3.4.2. Le préjudice causé par les fenêtres et les écrans de petite taille.....	96
3.4.3. La présentation visuelle d'une page web.....	97
3.4.4. L'apprentissage de la lecture.....	99
Références.....	102
Annexes.....	116

Introduction générale

Cette thèse de psychologie cognitive se situe dans le champ de recherche dédié à l'étude de la compréhension du langage écrit. La compréhension du langage écrit est une activité complexe au plan cognitif du fait des nombreux processus qu'elle met en jeu (Kliegl, Nuthmann, & Engbert, 2006). Cette activité joue un rôle majeur dans nos sociétés modernes. A l'heure de la société de l'information, et avec le développement d'Internet, les habitudes de lecture changent mais l'écrit occupe toujours une place centrale (Baccino, 2004). La compréhension des processus impliqués par l'activité de lecture/compréhension et la détermination des facteurs susceptibles de la faciliter sont donc des enjeux importants, tant au niveau scientifique qu'appliqué.

Notre recherche fait intervenir la technique de l'enregistrement des mouvements oculaires comme méthode privilégiée d'investigation. Du fait des avancées technologiques, l'utilisation de cette technique s'est généralisée dans le champ de la psychologie depuis le milieu des années 70. Elle a permis d'accroître considérablement nos connaissances sur les processus cognitifs associés à la lecture. Les questions abordées dans ce champ de recherche sont nombreuses. Comme le soulignent Rayner et Liversedge (2004) on peut constater que deux courants de recherche se sont distingués dans le champ général dévolu à l'étude des processus cognitifs associés à la lecture. Le premier courant de recherche s'est centré sur les traitements *visuels* associés à cette activité. Les questions traitées dans ce courant ont trait à la manière dont les lecteurs extraient l'information visuelle disponible sur la page de texte. Une des questions fondamentales abordées dans ce cadre est la détermination de l'empan perceptif, c'est-à-dire la région du champ visuel autour du point de fixation à l'intérieur de laquelle de l'information utile est extraite. Le deuxième courant s'est centré sur les traitements *linguistiques* associés à l'activité de lecture. Le but des recherches menées dans ce cadre est de comprendre la manière dont les individus construisent une représentation mentale des textes qu'ils lisent. Les études qui examinent l'influence des signaux visuels (e.g. titres, marques de paragraphes) sur la compréhension de texte se placent clairement dans ce cadre.

Le but de cette thèse est d'examiner l'influence des signaux visuels sur l'empan perceptif en lecture et en recherche d'information dans un texte. Cet objectif de recherche est, à notre connaissance, inédit. Nous tenterons d'intégrer les recherches menées sur l'empan perceptif et les recherches menées sur l'influence des signaux visuels sur la compréhension de

texte et la recherche d'information dans un texte. Par conséquent, ce travail de recherche abordera de manière conjointe les traitements visuels et linguistiques en jeu lors de la lecture et de la recherche d'information dans un texte.

Notre exposé comporte onze parties structurées en trois grands chapitres. L'introduction théorique forme le premier chapitre et rassemble les quatre premières parties. Le compte rendu des expériences menées dans le cadre de cette thèse forme le deuxième chapitre. Il rassemble trois parties, correspondant chacune à une expérience. Le troisième chapitre, dévolu à la discussion générale de cette thèse, se subdivisera en quatre parties. Le contenu de ces onze parties, en substance, est le suivant.

La première partie de l'introduction théorique présente brièvement quelques caractéristiques fondamentales des mouvements oculaires. Nous verrons que les saccades sont conditionnées par le fait que l'acuité visuelle est meilleure en vision fovéale. Il est communément admis qu'en lecture, la localisation des fixations coïncide le plus souvent avec l'endroit où l'attention de l'individu se porte réellement.

La deuxième partie de l'introduction théorique expose les recherches menées sur l'empan perceptif. La méthode qui fait autorité dans ce champ de recherche, l'utilisation de la technique de la fenêtre mobile, est présentée. Cette technique permet de masquer le texte présenté à l'écran, excepté à l'intérieur d'une fenêtre donnée qui se centre automatiquement sur les points de fixation du sujet. Les études qui ont utilisé cette technique ont trouvé que l'empan perceptif ne s'étendait pas au-delà de la ligne fixée en lecture, et pas au-delà de deux lignes supplémentaires en plus de la ligne fixée en recherche visuelle. Cependant, ces études ont systématiquement utilisé des textes exempts de tout signal visuel.

La troisième partie de l'introduction théorique présente les recherches menées sur l'influence des signaux visuels sur la compréhension et la recherche d'information dans un texte expositif. Ces recherches ont notamment montré que les titres facilitent les traitements de hauts niveaux à l'œuvre lors de la compréhension d'un texte expositif, à savoir l'identification des thèmes du texte et de leurs relations. Les titres sont également très utiles dans une activité de recherche d'information.

La dernière partie de l'introduction théorique présente l'hypothèse centrale à l'origine des trois expériences de cette thèse. Selon celle-ci, l'empan perceptif peut s'étendre

verticalement au-delà des régions antérieurement définies lorsque le texte contient des signaux visuels.

La première expérience exposée dans cette thèse examine les limites de l'empan perceptif en lecture lorsque le texte lu contient des signaux visuels. Conformément à la technique de la fenêtre mobile, cinquante-neuf participants ont lu un texte qui apparaissait soit normalement en plein écran, soit à travers une fenêtre mobile contenant la ligne fixée et environ trois lignes supplémentaires au-dessus et en dessous. Les résultats ont montré une perturbation de l'activité de lecture dans la condition fenêtre par rapport à la condition normale. Cette perturbation se traduit par une diminution des temps de relectures et un rappel plus faible des thèmes du texte. Ceci suggère que l'empan perceptif en lecture peut s'étendre au-delà de la ligne fixée lorsque le texte contient des signaux visuels.

La deuxième expérience, tout comme la première, examine les limites de l'empan perceptif en lecture lorsque le texte lu contient des signaux visuels. Mais elle adopte un niveau de contrôle plus élevé (i.e. mesures répétées et consigne de lecture plus précise) et elle tente de déterminer si l'empan perceptif s'étend davantage au-dessus ou en dessous de la ligne fixée. Comme dans la première expérience, les résultats ont montré une perturbation de l'activité de lecture dans la condition fenêtre. La présence de la fenêtre engendre une diminution des temps de relecture, un ralentissement général du rythme de lecture, et un rappel plus faible de l'organisation hiérarchique des thèmes du texte. Ceci suggère à nouveau que l'empan perceptif peut s'étendre au-delà de la ligne fixée lorsque le texte contient des signaux visuels. En revanche, les résultats n'ont pas permis de déterminer si l'empan perceptif s'étend davantage au-dessus ou en dessous de la ligne fixée.

La troisième expérience examine les limites verticales de l'empan lorsque le texte est lu pour rechercher une information spécifique. Dans cette expérience, la fenêtre était assez grande pour contenir la ligne fixée et deux lignes supplémentaires en plus de la ligne fixée. En cohérence avec les deux premières expériences, on observe une perturbation de l'activité en présence de la fenêtre lorsque le texte contient des signaux visuels. La présence de la fenêtre engendre un ralentissement général de l'activité de recherche. Donc ces résultats, tout comme les résultats des deux expériences précédentes, sont conformes à nos attentes et suggèrent que l'empan perceptif peut s'étendre verticalement au-delà des régions antérieurement définies lorsque le texte contient des signaux visuels.

La première partie de la discussion générale rappelle succinctement les objectifs de recherche de cette thèse et présente le plan de la discussion.

La deuxième partie de la discussion générale expose les implications théoriques de ces résultats dans le champ de recherche de l'empan perceptif. Les études antérieures menées sur l'empan perceptif se sont focalisées sur la perception des lettres et des mots. Cependant, les données reportées dans cette thèse suggèrent que de l'information relative aux signaux visuels peut être perçue au-delà des régions antérieurement définies. Une nouvelle notion théorique, *l'empan typographique*, est proposée sur la base de ces résultats. Cet empan, d'une taille plus importante que l'empan perceptif traditionnellement délimité pour la perception des lettres et des mots, comprendrait toutes les informations typographiques perçues autour du point de fixation et utiles à l'activité (e.g. lecture, recherche d'information).

La troisième partie de la discussion générale présente les principales limites de cette thèse et propose de nouvelles perspectives de recherche associées à l'empan typographique. Il est notamment proposé que l'empan typographique pourrait être influencé par quatre catégories de facteurs : les signaux visuels présents sur la page, leur réalisation typographique, la tâche réalisée, et les caractéristiques du lecteur. Des exemples précis correspondant à chacune de ces catégories sont fournis.

La dernière partie de la discussion générale présente les intérêts appliqués de cette thèse. Les résultats obtenus dans les trois expériences réalisées et de nouvelles perspectives de recherches associées à la notion d'empan typographique pourraient contribuer à l'étude de plusieurs problématiques appliquées. Ces problématiques concernent l'espace interligne dans un texte, les fenêtres et les écrans de petite taille, la présentation visuelle d'une page web, et l'apprentissage de la lecture.

1. Introduction théorique

1.1. CARACTERISTIQUES GENERALES DES MOUVEMENTS OCULAIRES

1.1.1. Saccades et fixations

L'introspection peut parfois nous donner l'impression que notre regard se déplace de manière continue sur le monde qui nous entoure. Il n'en est rien. En réalité, des périodes de relative stabilité appelées fixations alternent exclusivement avec des périodes de mouvements rapides appelés saccades.¹ Lorsque nous portons attention à notre environnement visuel (parce que nous lisons, conduisons, cherchons quelque chose par exemple) nos yeux bougent en général plusieurs fois par secondes. Chaque mouvement donne lieu à une fixation à un endroit différent.

La durée des fixations est très variable (Rayner, 1998). En lecture, les fixations durent en moyenne environ 250 ms (entre 50 et 500 ms typiquement). Elles sont en général un peu plus longues en recherche visuelle (275 ms) et en perception de scènes visuelles (330 ms). La durée des saccades est beaucoup plus brève. Une saccade de deux degrés (8 caractères), typique en lecture, dure environ 30 ms. Une saccade plus longue de 5 degrés, typique en perception de scène, dure environ 40-50 ms. En lecture, la plupart des saccades sont dirigées vers la droite, dans le sens de la lecture (pour les langues qui se lisent de gauche à droite). Mais environ 10-25 % de saccades sont dirigées vers la gauche (Rayner & Pollatsek, 1989). Ces saccades, appelées saccades régressives ou régressions, permettent au lecteur de relire des passages de texte qu'il a déjà lu.

Pratiquement aucune information visuelle n'est extraite pendant les saccades (phénomène appelé la suppression saccadique). L'information visuelle est extraite seulement pendant les fixations (Wolverton & Zola, 1983). Malgré cela, nous ne percevons pas de rupture dans notre perception visuelle. Un processus d'intégration inter-saccade permet de combiner les informations visuelles issues des différentes fixations pour maintenir une perception stable et cohérente de notre environnement (Henderson & Hollingworth, 2003).

¹ Bien que les yeux demeurent relativement stables pendant les fixations, de petits mouvements persistent. Une sorte de tremblement appelé nystagmus permet un rafraîchissement continu de l'image qui se projette sur la rétine. Un glissement lent et involontaire (appelé décalage) fait parfois varier un petit peu la position des yeux pendant les fixations. Il donne souvent lieu à une microsaccade (involontaire) qui corrige le glissement précédent.

1.1.2. Champ visuel et acuité

La principale raison d'être des saccades réside dans le fait que l'acuité visuelle est meilleure au centre du champ visuel qu'à sa périphérie. Trois zones du champ visuel sont communément distinguées : la fovéa, qui couvre les deux degrés centraux autour du point de fixation, la région parafovéale qui entoure la fovéa et s'étend jusqu'à 5° au-delà du point de fixation, et la région périphérique qui couvre le reste du champ visuel.

Il est notable que ce découpage comporte une part d'arbitraire. L'acuité visuelle est meilleure en vision fovéale qu'en vision parafovéale et périphérique mais elle décroît en réalité de manière continue du centre du champ visuel à sa périphérie. Donc les éléments les plus fins de notre environnement visuel ne peuvent pas être perçus aisément en vision périphérique. Une saccade qui redirige la fovéa en leur direction est parfois nécessaire. Les mots et les lettres, par exemple, sont des éléments fins qui nécessitent d'être fixés en vision (para)fovéale pour être identifiés facilement (Rayner & Bertera, 1979 ; Rayner, Inhoff, Morrison, Slowiaczek, & Bertera, 1981), à moins, bien évidemment, qu'ils soient de taille très importante (Pollatsek, Rayner, & Collins, 1984).

1.1.3. Mouvements oculaires et attention

Les mouvements oculaires étant rapides et peu coûteux, ordinairement, nous dirigeons notre regard vers les éléments auxquels nous souhaitons porter attention. Il est donc raisonnable de penser que le point de fixation et le locus attentionnel, c'est-à-dire le lieu d'attribution de l'attention visuelle, coïncident. Le point de fixation indiquerait l'endroit précis auquel l'individu porte attention pour extraire de l'information.

En fait, même si le lien entre point de fixation et attention visuelle est étroit, il est nécessaire de découpler ces deux éléments (Irwin, 2004). Si nous portons généralement attention aux stimuli qui se trouvent au point de fixation, l'inverse n'est pas forcément vrai : nous pouvons allouer de l'attention et extraire de l'information visuelle ailleurs qu'au point de fixation. On parlera dans ce cas d'attention cachée (*covert attention*) par opposition à l'attention visible (*overt attention* ; Posner, 1980). Par exemple, il est communément admis que pendant une fixation, avant la saccade suivante, de l'attention cachée est allouée au lieu de destination de la saccade (Hoffman & Subramaniam, 1995). De plus, le locus attentionnel et le point de fixation peuvent ne pas coïncider exactement parce que le locus attentionnel englobe une région du champ visuel plus large que celle couverte par le point de fixation. Par

exemple, le contenu général d'une image (un paysage, l'intérieur d'un appartement, un visage...) peut parfois être identifié en une fixation parce que de l'information visuelle est extraite bien au-delà du point de fixation (Henderson & Ferreira, 2004). Dans le cas de la lecture, il est communément admis que le lien entre le locus attentionnel et le point de fixation est très étroit parce qu'il est nécessaire de fixer les mots en vision (para)fovéale pour pouvoir les identifier facilement (Rayner, 1998).

1.2. EMPAN PERCEPTIF ET GUIDAGE OCULAIRE EN LECTURE

L'empan perceptif se définit comme la région du champ visuel autour du point de fixation à l'intérieur de laquelle de l'information utile est extraite (Rayner & Liversedge, 2004). La détermination de l'empan perceptif a motivé un grand nombre d'études depuis les travaux princeps de McConkie et Rayner (1975 ; Rayner, 1975). Cette question a été abordée dans des contextes très divers : la lecture (McConkie & Rayner, 1975 ; Rayner, 1975), la perception d'image (Saida & Ikeda, 1979), la recherche visuelle (Pomplun, Reingold, & Shen, 2001), la lecture de partitions musicales (Gilman & Underwood, 2003), le jeu d'échec (Reingold, Charness, Pomplun, & Stampe, 2001). La méthode la plus reconnue et la plus utilisée pour traiter cette question de recherche repose sur l'utilisation de la technique de la fenêtre mobile et ses variantes (Rayner, 1998).

1.2.1. La technique de la fenêtre mobile

La technique de la fenêtre mobile permet de masquer ou modifier le stimulus visuel, excepté à l'intérieur d'une fenêtre donnée qui se centre automatiquement sur les points de fixation du sujet (McConkie & Rayner, 1975). A l'intérieur de la fenêtre, au centre du champ visuel, le stimulus apparaît normalement. A chaque nouvelle saccade, la fenêtre se replace immédiatement autour du nouveau point de fixation. La forme et la taille de la fenêtre sont contrôlées par l'expérimentateur. Celui-ci détermine également la manière dont le stimulus visuel est modifié à l'extérieur de la fenêtre (cf. Figure 1). Il peut être totalement masqué ou plus ou moins partiellement altéré. Dans le cas de la lecture par exemple, les mots peuvent être totalement masqués (toutes les lettres sont remplacées par des X) ou remplacés par des mots plus ou moins proches visuellement et sémantiquement. L'espace entre les mots peut être conservé ou non.

Le principe qui sous-tend l'utilisation de cette technique est le suivant. Quand la fenêtre est aussi large ou plus large que la région du champ visuel à l'intérieur de laquelle de

l'information utile est perçue, aucune différence avec une condition sans fenêtre ne devrait être observée. A l'inverse, quand la fenêtre est plus petite que cette région, une perturbation de l'activité devrait être observée.

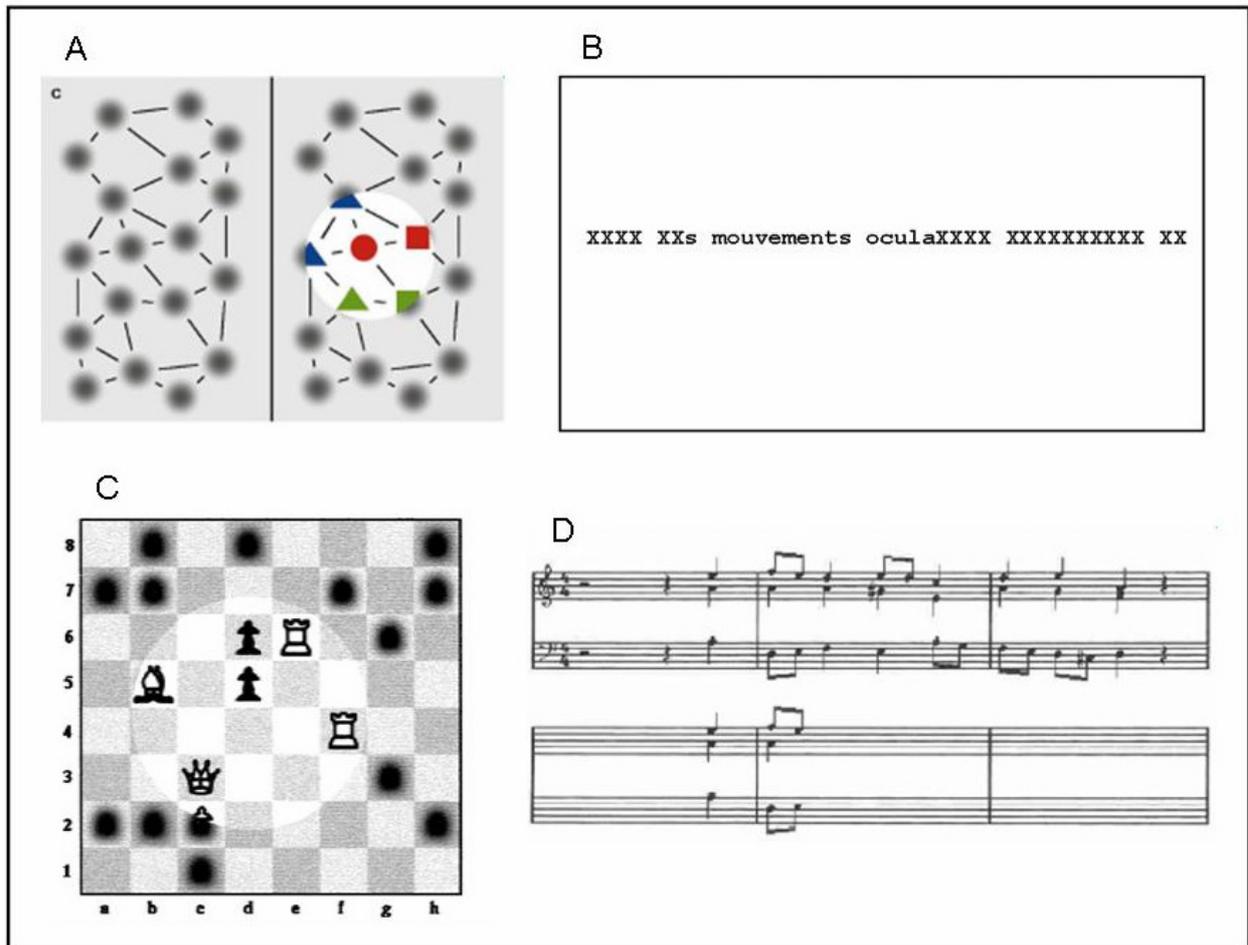


Figure 1 : Illustration de la technique de la fenêtre mobile dans une tâche de recherche visuelle (A), de lecture (B), de jeu d'échecs (C), et de lecture de partitions musicales (D).²

Il existe deux autres variantes de cette technique : la technique du masque mobile et la technique de la frontière. Le principe de la technique du masque mobile est le même que celui de la fenêtre mobile sauf que le stimulus est masqué à l'intérieur de la fenêtre et non à l'extérieur (Rayner & Bertera, 1979). La technique de la frontière a été utilisée principalement en lecture (Rayner, 1975). Avec cette technique, un mot cible dans une phrase est remplacé par un autre mot (ou un non-mot) avant la lecture. Puis, dès que le regard du lecteur franchit

² Extraits de (A) *Cognition*, 81, Pomplun, Reingold, & Shen, Investigating the visual span in comparative search: the effects of task difficulty and divided attention, B57-B67, Copyright 2001, avec la permission de Elsevier, (C) *Psychological Science*, 12, Reingold, Charness, Pomplun, & Stampe, Visual span in expert chess players: Evidence from eye movements, 48-55, Copyright 2001, avec la permission de Blackwell, (D) *Visual Cognition*, 10, Gilman & Underwood, Restricting the field of view to investigate the perceptual spans of pianists, 201-232, Copyright 2003, avec la permission de Psychology Press.

une frontière invisible placée à un endroit précis par l'expérimentateur, le mot cible original réapparaît normalement.

La technique de la fenêtre mobile a permis de déterminer l'empan perceptif pour de nombreuses activités visuelles.³ Nous focaliserons notre attention sur l'empan perceptif en lecture et en recherche visuelle dans un texte, tout en essayant de dégager les limites des études correspondantes.

1.2.2. Les limites horizontales de l'empan perceptif en lecture

La quasi-totalité des études qui ont porté sur l'empan perceptif en lecture ont eu pour but de déterminer ses limites horizontales. Ces dernières ont obtenu des résultats très convergents. Lorsque la technique de la fenêtre mobile est utilisée et que la fenêtre comprend jusqu'à 3-4 caractères à gauche du point de fixation et 14-15 caractères à sa droite, aucune différence dans les temps de lecture et dans les performances de rappel des phrases n'est observée. Par contre, si la fenêtre est plus étroite, on n'observe toujours aucune différence au niveau du rappel des phrases (Rayner et al., 1981) mais cela engendre un ralentissement du rythme de lecture (Denbuurman, Roerema, & Gerrissen, 1981 ; McConkie & Rayner, 1975, 1976 ; Rayner, Well, Pollatsek, 1980 ; Underwood & McConkie, 1985). Il est donc communément admis que l'empan perceptif s'étend horizontalement de 3-4 caractères à gauche du point de fixation jusqu'à 14-15 caractères à sa droite (Rayner, 1998).⁴

Mais cela ne veut pas dire que les mots peuvent être identifiés aussi loin du point de fixation. La région du champ visuel à l'intérieur de laquelle les mots peuvent être identifiés pendant une fixation – *l'empan d'identification lexicale* – s'étend seulement 7-8 caractères à droite du point de fixation (Rayner, Well, Pollatsek, & Bertera, 1982). Seules certaines informations comme la longueur des mots par exemple peuvent être perçues à l'extrémité de

³ L'étude de l'empan perceptif dans ces diverses activités a permis de mettre au jour, entre autres, les phénomènes suivants. Dans une tâche de jeu d'échec, les joueurs experts ont un empan perceptif plus grand que les joueurs novices (Reingold et al., 2001). Contrairement aux novices, les joueurs experts seraient capables, grâce à leur expertise, d'identifier rapidement des ensembles de pièces (i.e. des 'chunks') qui feraient sens dans le jeu. Cette interprétation est confirmée par le fait que l'avantage des experts disparaît lorsque la position des pièces est aléatoire. Dans une tâche de lecture de partitions musicales, Gilman et Underwood (2003) observent peu de différence, au niveau de l'empan perceptif, entre des pianistes expérimentés et des pianistes moins expérimentés. Cependant, ils observent que la distance entre les notes inspectées par les yeux et les notes effectivement jouées (l'empan 'œil-main') est plus importante pour les pianistes expérimentés. Enfin, Henderson, McClure, Pierce, et Schrock (1997) ont observé que la taille de l'empan perceptif est généralement plus importante lors de la perception d'une image que lors de la lecture.

⁴ Cependant, dans certaines circonstances, les lecteurs pourraient extraire de l'information à une distance plus grande à gauche du point de fixation. Quand un mot est sauté, pendant la fixation sur le mot suivant, le lecteur porterait attention, à gauche, au mot sauté (Binder, Pollatsek et Rayner, 1999).

l'empan perceptif (Morris, Rayner, & Pollatsek, 1990). L'extraction de ces informations par anticipation constitue en quelque sorte un pré-traitement qui facilite le guidage des mouvements oculaires et l'identification subséquente des mots, phénomène appelé *l'effet d'aperçu* (Rayner, 1975). Parfois, le pré-traitement en vision parafovéale de certains mots, particulièrement les mots courts, suffit à une identification complète du mot et celui-ci est alors 'sauté', c'est-à-dire non-fixé (Blanchard, Pollatsek, & Rayner, 1989 ; Drieghe, Rayner, & Pollatsek, 2005).

Il est important de souligner que la taille de l'empan perceptif n'est pas fixe. L'empan perceptif varie en fonction des caractéristiques du texte et du lecteur. La taille de l'empan se réduit si le texte est difficile à lire (i.e. si il contient des mots de fréquence lexicale basse ; Henderson & Ferreira, 1990 ; White, Rayner, & Liversedge, 2005), ou si le lecteur a de faibles habiletés de lecture (Chace, Rayner, & Well, 2005 ; Rayner, 1986). Enfin, les caractéristiques de l'empan sont complètement différentes pour des écritures non-occidentales. Par exemple, l'empan est plus restreint pour le japonais (Ikeda & Saida, 1978 ; Osaka, 1992 ; Osaka & Oda, 1991) et le chinois (Inhoff & Liu, 1998).

1.2.3. La composante cognitive de l'empan perceptif

Nous avons vu que l'empan perceptif se définit comme la région du champ visuel autour du point de fixation à l'intérieur de laquelle de l'information *utile* est extraite (Rayner & Liversedge, 2004). Mais que recouvre la notion d'utilité dans cette définition ? Qu'est-ce qu'une information utile ? Cette notion renvoie au fait que l'empan perceptif n'est pas seulement fonction des limites sensorielles de notre système visuel. Il dépend également des processus cognitifs en jeu dans l'activité (Baccino, 2004). Ceci est manifeste notamment dans son asymétrie. L'acuité visuelle est la même à gauche et à droite du point de fixation. Si l'empan perceptif était uniquement fonction des limites sensorielles du système visuel, l'empan serait aussi large à droite qu'à gauche en lecture. Or, l'empan perceptif comprend jusqu'à 14-15 lettres à droite du point de fixation et seulement 3-4 lettres à gauche du point de fixation (McConkie & Rayner, 1976). Pourquoi la région du champ visuel située au-delà de 3-4 lettres à gauche du point de fixation ne fait pas partie de l'empan perceptif alors que l'acuité visuelle est suffisante pour percevoir des informations en provenance de cette région ? Les informations situées au-delà de 3-4 lettres à gauche du point de fixation ne font pas partie de l'empan perceptif car elles ne sont pas utiles à l'activité cognitive en cours étant donné le sens de lecture (de gauche à droite). Cette interprétation est confirmée par le fait que l'asymétrie de

l'empan s'inverse avec une langue lue de droite à gauche. Lorsque des bilingues anglais-hébreu lisent de l'hébreu, l'empan perceptif comprend plus de lettres à gauche du point de fixation qu'à droite (Pollatsek, Bolozky, Well, & Rayner, 1981).⁵

En résumé, pour qu'une région du champ visuel fasse partie de l'empan perceptif il est nécessaire a) que l'acuité visuelle soit suffisante pour percevoir de l'information en provenance de cette région, et b) que cette information soit utile par rapport à l'activité cognitive en cours.

1.2.4. Les limites verticales de l'empan perceptif en lecture

Une seule étude utilisant la technique de la fenêtre mobile a porté sur les limites verticales de l'empan perceptif en lecture (Pollatsek, Raney, Lagasse, & Rayner, 1993). Plus précisément, cette étude a porté uniquement sur la limite inférieure de l'empan perceptif. Le but était de déterminer si le lecteur extrait de l'information utile *en dessous* de la ligne de texte lue.

Avant cette étude, deux autres études motivées par des questions similaires avaient déjà été menées avec une autre méthodologie que celle impliquant la technique de la fenêtre mobile (Inhoff & Briihl, 1991; Inhoff & Topolski, 1992). Nous verrons que les conclusions de l'étude de Pollatsek et al. (1993) concorderont avec les conclusions de ces deux précédentes études. Dans l'expérience de Inhoff et Briihl (1991), deux lignes de texte étaient présentées à l'écran. Les lecteurs avaient comme consigne de lire la première ligne en ignorant la seconde ligne placée juste en dessous. A l'issue de la lecture, les lecteurs étaient soumis à un questionnaire. Les réponses au questionnaire indiquaient que les lecteurs avaient parfois perçu de l'information provenant de la seconde ligne. Mais un examen des fixations oculaires a révélé que la deuxième ligne était parfois fixée. Lorsque les données correspondantes étaient écartées de l'analyse, les réponses au questionnaire ne suggéraient plus que les lecteurs avaient obtenu de l'information provenant de la ligne placée en dessous de la ligne lue. Dans l'expérience de Inhoff et Topolski (1992), deux lignes de texte étaient également présentées à l'écran mais le lecteur devait lire normalement les deux lignes. Les auteurs comparaient le

⁵ On trouve dans la littérature scientifique une notion théorique proche de l'empan perceptif, à savoir l'empan visuel, qui lui relève quasiment exclusivement des limites sensorielles du système visuel. Il correspond à la région du champ visuel à l'intérieur de laquelle les lettres peuvent être reconnues avec exactitude (O'Regan, Lévy-schoen, & Jacobs, 1983). La taille de cet empan est naturellement très influencée par des facteurs liés à la lisibilité des lettres comme le contraste de luminosité lettre/fond (Legge, Ahn, Klitz, & Luebker, 1997). Il est à noter que le terme d'empan visuel est parfois utilisé dans la littérature (à tort) pour faire référence à l'empan perceptif (Pomplun et al., 2001; Reingold et al., 2001).

temps de fixation sur un mot cible de la première ligne selon que le mot placé juste en dessous, sur la deuxième ligne, était sémantiquement relié ou non. Les résultats ont montré que les informations présentes sur la deuxième ligne n'avaient pas d'effet sur les temps de fixation du mot cible placé sur la première ligne. Les auteurs en ont conclu que le lecteur n'obtenait pas d'information provenant de la ligne placée en dessous de la ligne lue.

Arguant du fait que les consignes ou les conditions de lecture étaient inhabituelles dans les expériences de Inhoff et coll. (Inhoff & Briehl, 1991; Inhoff & Topolski, 1992) et que la technique de la fenêtre mobile est la technique la plus appropriée pour étudier l'empan perceptif en lecture, Pollatsek et al. (1993) ont proposé une nouvelle étude pour examiner les limites verticales de l'empan perceptif en lecture. Dans cette étude, 15 lignes de texte étaient présentées à l'écran et la fenêtre mobile incluait toujours la ligne de texte fixée et toutes les lignes situées au-dessus. Toutes les lignes situées en dessous de la ligne fixée étaient modifiées de quatre manières différentes : toutes les lettres étaient remplacées par a) la lettre X, b) des lettres visuellement semblables, c) des lettres visuellement dissemblables, ou d) des lignes provenant d'un autre texte (cf. Figure 2). Après la lecture, les participants répondaient à des questions de compréhension. Les résultats ont montré que les passages de texte étaient lus légèrement plus rapidement quand les lettres étaient remplacées par des X et quand il n'y avait aucune fenêtre. Aucune différence significative dans les performances aux questions de compréhension n'a été obtenue. Pollatsek et al. (1993) en ont conclu que l'empan perceptif ne s'étendait pas en dessous de la ligne de texte fixée. On retrouve ici la composante cognitive de l'empan perceptif évoquée plus haut. Avec un interligne normal, l'acuité visuelle est largement suffisante pour percevoir les lettres de la ligne en dessous de la ligne lue. Mais comme ces informations seraient, au mieux, interférentes avec les informations de la ligne lue (à défaut d'être utiles), elles ne font pas partie de l'empan perceptif car elles sont en quelque sorte ignorées par le lecteur. Les résultats d'une étude récente de Van Overschelde et Healy (2005) confirment cette interprétation. Si l'interférence visuelle provenant des lignes entourant la ligne lue est réduite en augmentant la taille de l'interligne, le rythme de lecture est accéléré.

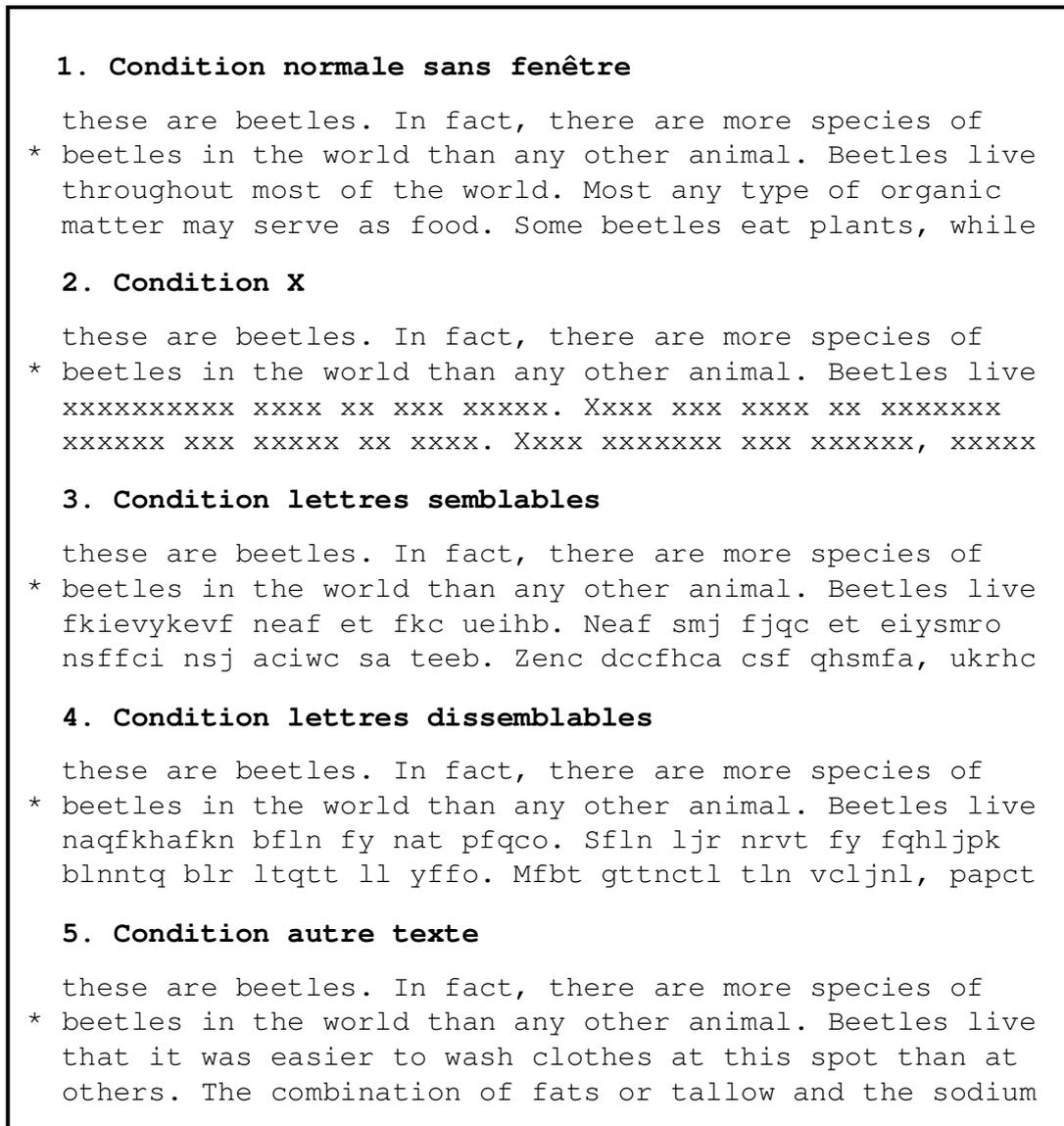


Figure 2 : Illustration des différentes conditions expérimentales dans l'étude de Pollatsek et al. (1993 ; expérience 1). L'astérisque signale la ligne lue.

Il est à noter que ni Pollatsek et al. (1993), ni Inhoff et coll. (Inhoff & Briihl, 1991; Inhoff & Topolski, 1992), n'ont examiné les limites verticales supérieures de l'empan perceptif. L'objectif de ces études était seulement de déterminer si de l'information utile à la lecture est extraite *en dessous* de la ligne lue. Pollatsek et al. (1993) justifient ce choix en suggérant que les informations situées au-dessus de la ligne lue seraient à exclure a priori de l'empan perceptif en raison de sa composante cognitive : "Nous n'avons pas examiné si les sujets utilisaient l'information placée au dessus de la ligne couramment fixée, puisque l'asymétrie de l'empan perceptif indique qu'il est peu probable que la disponibilité des mots

déjà lus soit pertinente” (Pollatsek et al., 1993, p. 183).⁶ De même, Pollatsek et al. concluent leur étude en suggérant que l’empan perceptif ne s’étend ni au-dessous, ni au-dessus, de la ligne de texte lue : “En résumé, nos données indiquent que quand des adultes lisent un texte [...] peu d’information visuelle est extraite *au-delà* de la ligne lue ; de plus, si de l’information est extraite, elle apparaît être, au mieux, interférente. Donc, l’hypothèse selon laquelle l’empan perceptif en lecture s’étend de 4 caractères à gauche du point de fixation jusqu’à 14 caractères à sa droite *sur la ligne immédiatement fixée*, apparaît être substantiellement exacte” (Pollatsek et al., 1993, p. 199, mises en italique ajoutées).⁷

1.2.5. L’empan perceptif en recherche visuelle dans un texte

Dans une seconde expérience, Pollatsek et al. (1993) ont examiné les limites verticales de l’empan perceptif en recherche visuelle dans un texte. Comme pour la première expérience, l’étude a porté uniquement sur les limites supérieures de l’empan. Les participants avaient pour consigne de trouver un mot cible. Ils étaient contraints de chercher dans le texte de manière systématique en balayant du regard les lignes du texte les unes après les autres, de gauche à droite et de haut en bas. Quand ils avaient trouvé le mot cible, ils appuyaient sur un bouton et un autre texte était présenté. Comme pour la première expérience, 15 lignes de texte étaient à chaque fois présentées à l’écran et la fenêtre mobile incluait toujours la ligne de texte fixée et toutes les lignes situées au-dessus. Les différentes conditions expérimentales se distinguaient par le nombre de lignes se trouvant en dessous de la ligne fixée comprises à l’intérieur de la fenêtre. La fenêtre comprenait zéro, une, deux, ou trois lignes en dessous de la ligne fixée. Quelque soit les conditions expérimentales, les lettres des lignes situées en dehors de la fenêtre étaient toujours remplacées par des X (cf. Figure 3). Les résultats ont montré que le mot cible était quelquefois détecté deux lignes en dessous de la ligne fixée mais jamais trois lignes en dessous. De plus, le nombre de lignes visibles en dessous de la ligne fixée n’avaient pas d’effet sur le temps total de recherche. L’empan perceptif en recherche visuelle dans un texte semble donc s’étendre au maximum deux lignes en dessous de la ligne de texte fixée.

⁶ Citation en langue originale : ‘We did not test whether subjects used information above the currently fixated line, since the asymmetry of the perceptual span indicated that it was unlikely that the availability of text already read would be relevant’ (Pollatsek et al., 1993, p. 183).

⁷ Citation en langue originale : ‘In summary, our data indicate that when adults read text [...] little visual information is extracted outside the line of text; moreover, the information that is extracted in reading, if anything, appears to be interfering. Hence, the hypothesis that the perceptual span in reading extends from 4 characters to the left of fixation to 14 characters to the right of fixation on the line currently fixated appears to be substantially correct’ (Pollatsek et al., 1993, p. 199).

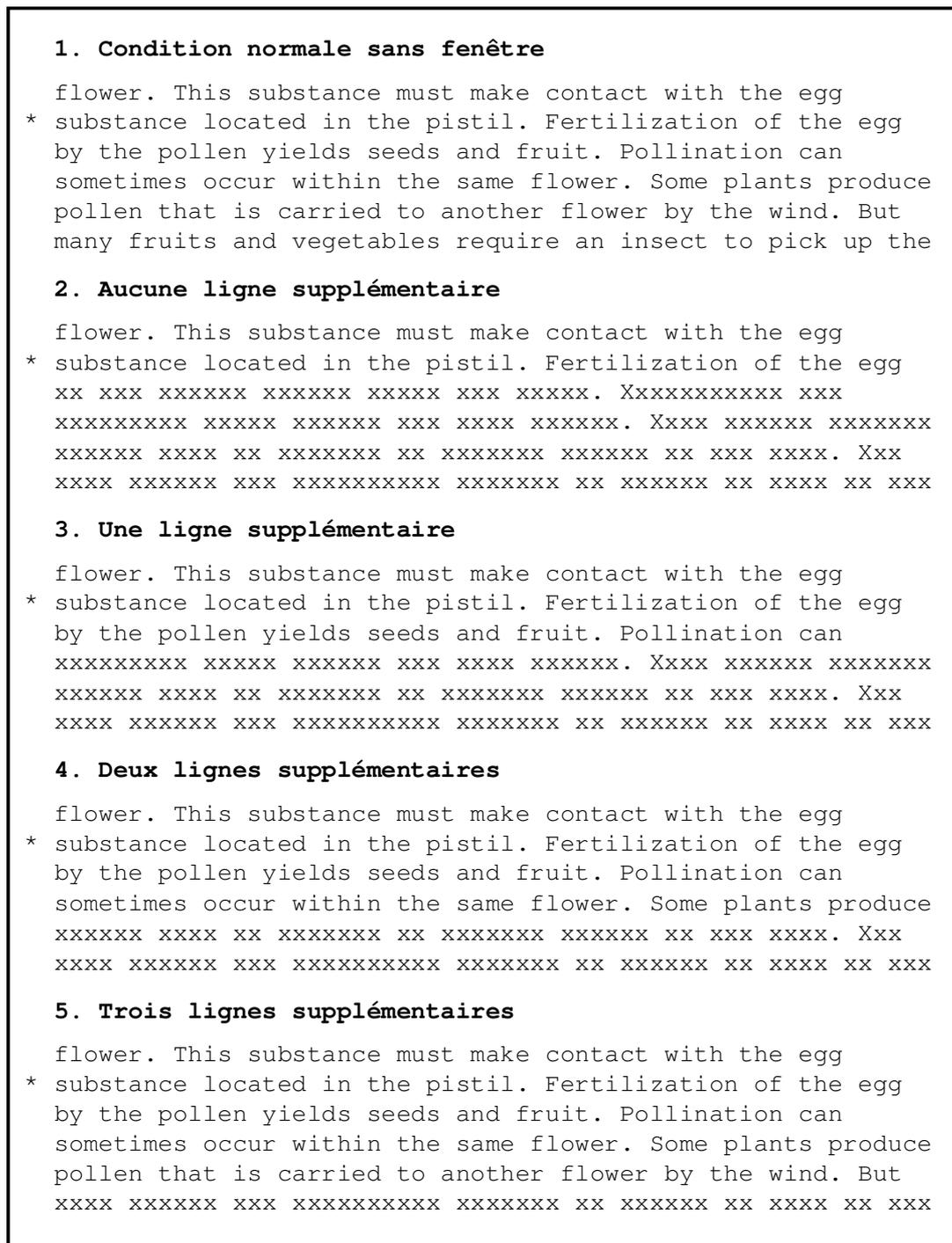


Figure 3 : Illustration des différentes conditions expérimentales dans la seconde expérience de l'étude de Pollatsek et al. (1993). L'astérisque signale la ligne lue.

Aucune autre étude à notre connaissance n'a examiné l'empan perceptif en recherche visuelle dans un texte. Cependant, deux autres études ont porté sur des problématiques proches avec des stimuli visuels autres que des textes. Dans une étude de Ojanpää, Näsänen et Kojo (2002), les participants devaient chercher un mot cible dans des listes de mots alignés verticalement. Les résultats ont montré que 4 ou 5 mots verticalement alignés pouvaient être

identifiés au maximum pendant une fixation, ce qui correspondait à 2,4 – 3 degrés d'angle visuel dans l'expérience. Dans une étude de Prinz (1984) les participants avaient pour consigne de trouver une lettre cible parmi des lignes de lettres. Les résultats ont montré qu'une lettre cible pouvait être détectée environ deux ou trois lignes au-dessus ou en dessous de la ligne de lettres fixée (ce qui correspondait à 1,3 – 1,8 degrés d'angle visuel).

1.2.6. Limite des études antérieures sur l'empan perceptif en lecture

Comme le montre la Figure 4, les conclusions des études antérieures suggèrent que l'empan perceptif en lecture est extrêmement étroit. Cependant, un examen des textes utilisés dans ces expériences révèle que ces derniers étaient systématiquement exempts de tout procédé de mise en page comme les titres ou les marques de paragraphe, procédés appelés *signaux visuels* dans la littérature (cf. plus bas). Ainsi, la généralisation des conclusions de ces études aux textes disposant de signaux visuels peut être questionnée. Le fait que l'empan perceptif en lecture ne s'étende pas au-delà de la ligne fixée, en particulier, pourrait être remis en question. Nous avons vu que l'empan perceptif était dépendant, à la fois, des limites sensorielles du système visuel et des processus cognitifs en jeu dans l'activité. Pour que l'empan perceptif s'étende au-delà de la ligne fixée, il est nécessaire a) que l'acuité visuelle soit suffisante pour pouvoir percevoir de l'information au-delà de la ligne fixée, et b) que cette information soit utile par rapport à l'activité cognitive en cours.

Or, premièrement, la perception des signaux visuels nécessite une acuité visuelle moindre que la perception des lettres et des mots. Il est possible de percevoir la présence d'un titre ou d'une marque de paragraphe à une certaine distance au-dessus ou en dessous de la ligne fixée.⁸ Concernant le deuxième point, nous allons voir dans la prochaine partie que de nombreuses études témoignent du fait que les signaux visuels sont très utiles dans la compréhension de texte. Mais avant d'examiner ces études, nous allons replacer les recherches sur l'empan perceptif dans le cadre général des modèles du guidage oculaire en lecture.

⁸ L'idée générale selon laquelle les signaux visuels peuvent être perçus au-delà de la vision centrale est très présente, en filigrane et sous diverses formes, dans la littérature (Debruijn, Demul, & Vanoostendorp, 1992 ; Lemarié, Eyrolle, & Cellier, 2008 ; Ling & van Schaik, 2004 ; Luc & Virbel, 2001 ; Nespoulous, de Mattos Pimenta, & Virbel, 2002 ; Reichle, Pollatsek, & Rayner, 2006 ; Schmid & Baccino, 2001). Mais aucune étude n'a reporté de données qui la soutiennent clairement ou qui permettent de faire un lien avec la notion d'empan perceptif.

ENJEUX ENERGETIQUES

Depuis la Révolution Industrielle, les pays industrialisés sont devenus de plus en plus dépendants de la production d'énergie pour maintenir leur économie et leur niveau de vie. Les sources primaires d'énergie sont les combustibles fossiles (pétrole, charbon et gaz naturel), et depuis peu le nucléaire. Les combustibles fossiles partagent plusieurs caractéristiques importantes qui ont contribué à les établir comme sources privilégiées d'énergie (ressources abondantes et transportables). Ces dernières années, cependant, nous avons été témoins de certaines des limitations des combustibles fossiles et du nucléaire.

I. LES DEGATS CAUSES À L'ENVIRONNEMENT

À cause de la recherche d'une énergie peu coûteuse et abondante, et de la dépendance aux combustibles fossiles et nucléaires que cela a créé, nous sommes maintenant confrontés à d'immenses problèmes environnementaux. L'utilisation massive des combustibles fossiles et du nucléaire menace notre environnement de nombreuses façons. Nous commençons à peine à comprendre l'ampleur des problèmes environnementaux que nous avons créés. Certains des problèmes majeurs liés à l'utilisation des combustibles fossiles vont être examinés ici.

1. L'effet de serre

La plus grande menace pesant sur la planète est peut être le réchauffement de la planète dû à l'effet de serre. L'effet de serre se produit quand certains gaz, en particulier le dioxyde de carbone, emprisonnent de la chaleur qui devrait normalement s'échapper dans l'espace. Le niveau de dioxyde de carbone a augmenté de plus de 23% comparé à celui d'avant la Révolution Industrielle et il continue de s'accroître d'environ 0,8 % par an. Comme ce niveau augmente, de plus en plus de chaleur est emprisonnée et les températures à l'échelle de la planète augmentent. En France, les émissions de gaz à effet de serre proviennent des transports pour 26 %, suivis de l'industrie (22 %), de l'agriculture (19 %), des bâtiments et habitations (19 %), de la production et de la transformation de l'énergie (13 %), et du traitement des déchets (3 %). Depuis 1990, les émissions ont augmenté de plus de 20 % pour les transports et les bâtiments. En revanche, elles ont diminué de 22 % dans l'industrie, de 10 % dans le secteur agricole, de 9 % dans le secteur de l'énergie et de 8

Figure 4 : Taille de l'empan perceptif en lecture résultant des études antérieures (en rouge dans la figure)

1.2.7. Les modèles du guidage oculaire en lecture

La littérature compte de nombreux modèles du guidage oculaire en lecture (Carpenter & Just, 1983 ; Engbert, Nuthmann, Richter, & Kliegl, 2005 ; Legge, Hooven, Klitz, Mansfield, & Tjan, 2002 ; Morrison, 1984 ; O'Regan, 1992 ; Pollatsek, Reichle, & Rayner, 2006a ; Reilly & Radach, 2006 ; Yang & McConkie, 2001). Le but de ces modèles est de pouvoir prédire les patterns oculaires d'un lecteur en fonction des caractéristiques linguistiques et visuelles du texte. Ces modèles sont construits pour pouvoir répondre à deux questions fondamentales : *quand* le regard du lecteur se déplacera-t-il et *où* ira-t-il se poser ? Autrement dit, ces modèles proposent des prédictions précises sur la durée et la localisation de chaque fixation pendant une activité de lecture.

Bien évidemment, ces modèles intègrent généralement de nombreux résultats empiriques reportés dans la littérature. Les résultats des études sur l'empan perceptif en lecture, entre autres, ont influencé l'élaboration de ces modèles. Nous avons vu que Pollatsek et al. (1993) ont conclu leur étude sur les limites verticales de l'empan en suggérant que le lecteur n'extrait pas d'information utile à la lecture au-dessus ou en dessous de la ligne lue. Si on examine les modèles du guidage oculaire en lecture, on peut constater qu'ils considèrent tous, en cohérence avec les conclusions de Pollatsek et al. (1993) de manière plus ou moins implicite, que les mouvements oculaires dépendent exclusivement des caractéristiques visuelles et linguistiques de la ligne lue. Autrement dit, selon ces modèles, aucune information perçue au-delà de la ligne lue ne peut influencer les mouvements oculaires.

La question de l'empan perceptif mise à part, différents résultats empiriques ont été déterminants pour ces modèles. Il est d'usage dans la littérature de classer ces modèles en deux catégories générales : les modèles dits 'cognitifs' et les modèles dits 'oculomoteurs'. Dans un modèle cognitif, ce sont les traitements linguistiques qui sont les principaux déterminants des mouvements oculaires (e.g. Carpenter & Just, 1983 ; Engbert et al., 2005 ; Morrison, 1984 ; Pollatsek et al., 2006a). A l'inverse, dans un modèle oculomoteur, les mouvements oculaires dépendent en priorité des caractéristiques visuelles du texte comme la longueur des mots (e.g. O'Regan, 1992 ; Yang & McConkie, 2001). Mais il faut souligner que la différence entre les modèles cognitifs et oculomoteurs est ténue car ces modèles se situent généralement à la frontière entre ces deux catégories.

Le modèle 'Strategy-tactics' (O'Regan, 1990, 1992 ; O'Regan & Levy-Schoen, 1987) est très représentatif des modèles oculomoteurs (voir aussi Yang & McConkie, 2001). Selon ce modèle, le guidage oculaire est principalement déterminé par la position d'arrivée de la saccade dans le mot. Ce modèle se fonde essentiellement sur les résultats empiriques suivants. Les lecteurs ont tendance à poser leur regard entre le début et le milieu des mots (Rayner, 1979). Lors d'une tâche de reconnaissance de mot isolé, si le point de fixation se trouve loin du milieu du mot, la probabilité de faire une deuxième fixation sur le mot augmente et le temps total de reconnaissance est plus long (O'Regan & Jacobs, 1992). La position dans le mot qui engendre la plus faible probabilité de refixation et les temps de reconnaissance les plus courts est appelée *la position optimale de fixation*. Mais la généralisation de ces résultats à une activité de lecture plus naturelle a été récemment remise en cause. Dans une situation de lecture continue (par opposition à une tâche de reconnaissance de mots isolés), la durée de fixation est, au contraire, plus courte si le point de fixation se trouve loin du milieu du mot (Kliegl et al., 2006 ; Nuthmann, Engbert, & Kliegl, 2005 ; Vitu, McConkie, Kerr, & O'Regan, 2001). Cet effet a été appelé *l'effet d'inversion de la position optimale de fixation*.

Les modèles E-Z Reader (Pollatsek et al., 2006a ; Reichle, Pollatsek, Fisher, & Rayner, 1998 ; Reichle, Rayner, & Pollatsek, 1999, 2003) et SWIFT (Engbert, Longtin, Kliegl, 2002 ; Engbert et al., 2005) sont considérés comme les modèles cognitifs les plus aboutis actuellement. Ils se basent sur une grande quantité de paramètres et ils permettent de rendre compte de nombreux résultats empiriques connus. Ces deux modèles simulent assez fidèlement les patterns de fixation de 'vrais' lecteurs sur une phrase donnée. Quelques résultats fondamentaux intégrés par ces deux modèles sont les suivants. La durée des fixations varie en fonction de la difficulté de traitement des mots au niveau linguistique. Un mot rarement rencontré dans une langue donnée, c'est-à-dire un mot ayant une fréquence lexicale basse, engendre des durées de fixation plus longues et est moins fréquemment sauté qu'un mot plus fréquent (*effet de fréquence* ; e.g. Hyönä & Olson, 1995 ; Inhoff & Rayner, 1986 ; Just & Carpenter, 1980). Si un mot est peu prédictible, eu égard aux mots qui le précèdent dans la phrase, il engendre des durées de fixations plus longues et il est moins fréquemment sauté que si il est fortement prédictible (*effet de prédictibilité* ; e.g. Balota, Pollatsek, & Rayner, 1985 ; Inhoff, 1984 ; Rayner, Reichle, Stroud, Williams, & Pollatsek, 2006). Enfin, la durée des fixations dépend, non seulement, des caractéristiques du mot fixé (mot n), mais aussi des caractéristiques du mot précédent (mot n-1). Par exemple, on observe des durées de fixation plus longues sur un mot fixé (mot n) si le mot précédent (mot n-1) a une fréquence

lexicale basse (Rayner & Duffy, 1986) ou une prédictibilité faible (Rayner, Warren, Juhasz, & Liversedge, 2004). Ces effets, qui sont appelés des *effets de débordement*, montrent que les yeux peuvent quitter un mot avant que le traitement linguistique de ce mot ne soit totalement terminé.

En plus de la distinction entre modèles cognitifs et modèles oculomoteurs, les modèles cognitifs sont eux-mêmes répartis en deux grandes catégories. Les modèles appartenant à la première catégorie proposent que pendant une fixation, l'attention visuelle du lecteur se déplace de manière *sérialisée* d'un mot à l'autre. Ces modèles sont dits à *déplacement séquentiel de l'attention* (SAS : 'sequential attention shift'). A l'inverse, les modèles appartenant à la seconde catégorie proposent que l'attention visuelle soit distribuée de manière *parallèle* sur plusieurs mots pendant une fixation. Ces modèles sont dits à *guidage par gradient attentionnel* (GAG : 'guidance by attentional gradient'). Le modèle E-Z Reader (Pollatsek et al., 2006a) fait partie de la première catégorie (i.e. SAS) alors que le modèle SWIFT (Engbert et al., 2005) fait partie de la deuxième (i.e. GAG). Par exemple, le modèle E-Z Reader propose que pendant une fixation sur un mot *n*, le lecteur alloue d'abord de l'attention au mot *n* puis, dans un second temps, déplace son attention sur le mot *n+1* (i.e. le mot suivant). A l'inverse, le modèle SWIFT propose que pendant une fixation sur un mot *n*, le lecteur peut allouer de l'attention en même temps au mot *n* et au mot *n+1*. Selon ce modèle, l'attention visuelle du lecteur peut même être allouée à quatre mots en même temps si ces derniers se trouvent à l'intérieur de l'empan perceptif (mais à des degrés divers, les mots proches du point de fixation disposant de plus de ressources attentionnelles que les mots plus éloignés). La question de savoir si de l'attention visuelle peut être allouée à un ou plusieurs mots en même temps fait actuellement l'objet d'une controverse dans la littérature (Inhoff, Eiter, & Radach, 2005 ; Inhoff, Radach, & Eiter, 2006 ; Kliegl, 2007 ; Kliegl et al., 2006 ; Pollatsek, Reichle, & Rayner, 2006b, 2006c ; Rayner, Pollatsek, Drieghe, Slattery, & Reichle, 2007). Cette question est importante dans la mesure où elle est au cœur de la distinction entre les modèles dits SAS et GAG.

On peut constater à l'examen de tous ces modèles du guidage oculaire en lecture que les rapports entre les mouvements oculaires et les processus cognitifs sont complexes. Une grande partie de cette complexité est expliquée par ces modèles, en particulier par les modèles cognitifs. Cependant, ces modèles comportent quelques limites générales importantes.

Premièrement, ils n'intègrent à l'heure actuelle qu'une partie limitée des processus cognitifs en jeu lors de la lecture. Les processus cognitifs dont ces modèles rendent compte sont les processus nécessaires à *l'identification des mots*. Mais, bien évidemment, la lecture n'est pas réductible à l'identification des mots. Des processus de plus hauts niveaux que ceux liés exclusivement à l'identification des mots interviennent, car le but final d'un lecteur est en général de *comprendre* le message véhiculé par le texte. A l'heure actuelle, aucun modèle de guidage oculaire en lecture n'intègre les processus cognitifs de hauts niveaux liés à la compréhension d'un texte. Nous examinerons en détail certains de ces processus dans la prochaine partie et nous verrons comment ils peuvent influencer les mouvements oculaires des lecteurs.

Deuxièmement, ces modèles ne rendent pas compte de tous les types de mouvements oculaires que l'on peut observer dans une activité de lecture. Les mouvements oculaires simulés par ces modèles sont exclusivement, à l'exception des retours à la ligne, des *mouvements oculaires horizontaux* sur la ligne lue. Or, nous verrons dans la prochaine partie que les lecteurs reviennent parfois sur des lignes de texte antérieures pour effectuer des relectures. Ce type de déplacement vertical est typiquement ignoré par ces modèles. En général, les données expérimentales utilisées pour tester ces modèles sont d'ailleurs recueillies avec des phrases isolées, affichées sur une seule ligne, ce qui exclut de fait les déplacements verticaux du regard.

Enfin, ces modèles ne prennent pas en compte le rôle joué par les *signaux visuels* (e.g. titres, marques de paragraphes) dans l'activité de lecture. Comme dans les études sur l'empan perceptif en lecture, le matériel textuel utilisé pour tester ces modèles est systématiquement exempt de tout procédé de mise en page. Or, nous verrons dans la prochaine partie que les signaux visuels peuvent influencer les mouvements oculaires en lecture car ils sont très utiles, entre autres, aux traitements de hauts niveaux impliqués dans la compréhension d'un texte.

1.3. SIGNAUX VISUELS ET COMPREHENSION DE TEXTES EXPOSITIFS

Les signaux sont traditionnellement définis comme des procédés d'écriture qui mettent en valeur le contenu ou la structure d'un texte sans ajouter de contenu supplémentaire au texte (Lorch, 1989 ; Meyer, 1975). Ils recouvrent un grand nombre de procédés hétérogènes que l'on peut distinguer selon différentes dimensions (Lemarié, Lorch, Eyrolle, Virbel, 2008). Ils sont, en particulier, de nature visuelle et/ou discursive. Les indicateurs de fonction comme 'en résumé', ou 'en conclusion', et les indicateurs de pertinence comme 'il est important de souligner' sont des exemples de signaux purement discursifs (Lorch, 1989). Les marques de paragraphes et les soulignements sont des exemples de signaux purement visuels. Enfin, les titres sont un exemple de signal à la fois visuel et discursif, la composante visuelle du titre renvoyant aux procédés de mise en page utilisés (e.g. caractères gras, indentations, majuscules), et la composante discursive renvoyant au contenu sémantique du titre.

Nous nous focalisons dans le présent travail sur les signaux visuels, c'est-à-dire les signaux qui impliquent une modification de l'apparence visuelle du texte. Les titres, les marques de paragraphes (indentations et/ou saut de ligne), les soulignements, les numérotations, les mises en italique, en gras, en majuscule sont des exemples typiques de signaux visuels. Ils sont présents dans quasiment tous les types de textes, mais ils sont plus fréquemment rencontrés dans certain types de texte que dans d'autres. Ils sont ordinairement très présents dans les textes expositifs, c'est-à-dire les textes qui ont pour vocation d'informer le lecteur sur un sujet ou un thème donné. Les études examinant l'impact des signaux visuels sur la compréhension de texte se sont majoritairement focalisées sur ce type de texte.

Nous examinerons tout d'abord les processus cognitifs impliqués par la compréhension des textes expositifs. Puis nous examinerons, en référence à ce type de texte, l'impact des signaux visuels sur la compréhension et la recherche d'information dans un texte.

1.3.1. La compréhension de textes expositifs

Typiquement, un texte expositif aborde successivement plusieurs thèmes et sous-thèmes qui entretiennent des relations hiérarchiques. Par exemple, un texte expositif traitant des enjeux écologiques actuels (Klusewitz & Lorch, 2000) va successivement aborder le thème des dégâts environnementaux, les sous-thèmes associés des marées noires et du réchauffement climatique, puis le thème des énergies renouvelables et les sous-thèmes associés de l'énergie solaire et de l'énergie éolienne. Il est communément admis que la

compréhension d'un texte expositif requiert la construction d'une représentation de la structure thématique du texte (Britton, 1994 ; Hyönä, Lorch, & Rinck, 2003 ; Kieras, 1981 ; Lorch, Lorch, & Matthews, 1985). La structure thématique d'un texte expositif correspond aux thèmes abordés dans le texte et aux relations qu'ils entretiennent. Cette notion est à rapprocher de la notion de macrostructure présente dans les modèles de Kintsch (van Dijk & Kintsch, 1983 ; Kintsch, 1988) car elles renvoient toutes les deux à la cohérence globale du texte (cf. Kintsch, 1998). Britton (1994) a proposé un modèle de compréhension de texte spécifique aux textes expositifs en adaptant un modèle préexistant, le modèle 'Structure Building Framework' de Gernsbacher (1990).

Le modèle de Gernsbacher (1990) postule que la compréhension de texte implique la construction d'une représentation mentale cohérente ou structure. La base de la structure se forme à partir des premiers mots du texte. Tant que les informations suivantes sont cohérentes avec cette structure de base, elles y sont associées. Mais quand l'information d'entrée n'est plus cohérente, une nouvelle sous-structure est créée. Les informations suivantes sont alors associées à la nouvelle sous-structure jusqu'à la prochaine rupture de cohérence et ainsi de suite. La plupart des représentations comprennent donc plusieurs ramifications de sous-structures. Ces structures mentales sont constituées par des cellules mémoires activées par les stimuli d'entrée. L'activation initiale provoquée par la lecture des premiers mots du texte forme la base de la structure. Les informations qui ne présentent pas de rupture de cohérence avec les informations précédentes sont associées à la même structure car elles activent des cellules mémoires proches. A l'inverse, si une information est en rupture avec les informations précédentes, elle entraîne la création d'une nouvelle sous-structure car elles activent des cellules mémoires différentes. Une fois que des cellules mémoires sont activées, elles augmentent ou diminuent le niveau d'activation des autres cellules mémoires. Le niveau d'activation des cellules est augmenté quand l'information qu'elles représentent est utile au développement de la structure, et il est diminué quand l'information qu'elles représentent n'est plus nécessaire au développement de cette structure.

Dans le modèle de Britton (1994), la création des sous-structures mentales est directement fonction de la structure thématique du texte. A chaque fois qu'un changement de thème est identifié, non seulement une nouvelle structure mentale est dévolue au nouveau thème, mais toutes les informations relatives au thème précédent sont résumées pour alléger la mémoire de travail et la relation hiérarchique qui lie les deux thèmes est déterminée. Tant que

le lecteur n'identifie pas de changement de thème, les informations sont ajoutées à la structure en cours de construction. La représentation mentale qui découle de ces processus comprend donc la structure thématique du texte, c'est-à-dire les différents thèmes du texte et leurs relations hiérarchiques.

De nombreuses données empiriques soutiennent l'idée selon laquelle les lecteurs construisent une représentation de la structure thématique des textes pendant la lecture. Les phrases qui introduisent un nouveau thème sont lues plus lentement que les phrases qui développent un thème introduit précédemment (Hyönä, 1995 ; Kieras, 1981 ; Lorch et al., 1985 ; Lorch, Lorch, & Mogan, 1987). Cet effet, appelé *l'effet de changement de thème*, n'est pas réservé aux lecteurs adultes puisqu'on l'observe également auprès de lecteurs plus jeunes (Hyönä, 1994 ; Lorch, Lorch, Gretter, & Horn, 1987).

Cet effet est d'autant plus prononcé que le changement de thème est abrupt (Lorch, Lorch, & Mogan, 1987 ; Lorch et al., 1985). Dans l'expérience menée par Lorch et al. (1985) par exemple, les participants lisaient un texte qui présentait les caractéristiques géographiques, climatologiques, économiques et politiques de deux pays totalement fictifs (Morinthia et Culatta). Le texte abordait successivement la géographie de Morinthia, la géographie de Culatta, le climat de Morinthia, le climat de Culatta, l'économie de Morinthia, l'économie de Culatta et ainsi de suite. Lorsque le texte abordait un nouveau pays et une nouvelle caractéristique (e.g., Géographie, climat), le changement de thème était considéré comme profond, abrupt. Lorsque le changement de thème impliquait uniquement un changement de pays, il était considéré comme plus subtil. Les résultats ont montré que l'accroissement des temps de lecture dû aux changements de thème était plus important lorsque le changement impliquait à la fois un changement de pays et de caractéristique examinée.

L'effet de changement de thème est plus prononcé chez les lecteurs adultes que chez les lecteurs plus jeunes (Hyönä, 1994). Il est également plus important pour les lecteurs qui ont une bonne mémoire du texte après la lecture (Lorch, Lorch, & Mogan, 1987). Dans cette expérience de Lorch et al. (1987), les lecteurs ont rappelé le texte par écrit après la lecture. Deux groupes ont été distingués en fonction de leur performance de rappel : un groupe dit 'bons rappeleurs' et un groupe dit 'mauvais rappeleurs'. Les résultats ont montré que l'accroissement des temps de lecture du aux changements de thème était plus important pour le groupe des 'bons rappeleurs' que pour le groupe des 'mauvais rappeleurs'.

Enfin, l'effet de changement de thème est dû en grande partie à des fixations régressives et des relectures (Hyönä, 1995). Autrement dit, les temps de lecture supplémentaires observés sur les phrases qui introduisent un nouveau thème sont, en grande partie, dus à des temps supplémentaires de régression et de relecture. Ces résultats ont été interprétés comme montrant que les *fixations régressives* et les temps de *relecture* sont des indicateurs des traitements de *haut niveau* du texte. La distinction opérée entre les traitements de bas niveaux et de plus hauts niveaux renvoie à la dimension locale versus globale des processus de compréhension de texte. Les traitements impliqués dans l'identification des mots et le maintien de la cohérence locale du texte sont considérés comme des traitements de plus bas niveaux que les traitements relatifs à la cohérence globale du texte qui nécessitent d'établir des relations entre des éléments textuels distants (Hyönä, Lorch, & Kaakinen, 2002 ; Hyönä et al., 2003 ; Kintsch, 1998 ; Rayner & Liversedge, 2004 ; Wiley & Rayner, 2000). Le traitement de la structure thématique des textes est un exemple typique de traitement de haut niveau car il nécessite l'établissement des relations entretenues entre les différents thèmes du texte.

L'hypothèse selon laquelle les fixations régressives et les temps de relecture sont des indicateurs des traitements de haut niveau du texte est confirmée par plusieurs études. Lorsque la cohérence globale d'un texte est dégradée en modifiant l'ordre de certaines phrases dans le texte, on observe plus de fixations régressives, des temps de relecture plus importants, et finalement un rappel du texte plus faible (Vauras, Hyönä, & Niemi, 1992). Lorsque le sens global d'un texte est très difficile à saisir du fait de formulations ambiguës et d'un manque d'informations contextuelles (fournies par un titre dans la condition contrôle), on observe aussi plus de fixations régressives et un rappel du texte plus faible (Wiley & Rayner, 2000). Donc les fixations régressives et les relectures peuvent être un indicateur des difficultés rencontrées dans les traitements de hauts niveaux du texte.

Mais il est important de noter que si les fixations régressives et les relectures peuvent indiquer des difficultés dans l'établissement des traitements de hauts niveaux, c'est précisément parce qu'elles sont très utiles à ces traitements. Dans une étude sur les différences interindividuelles, Hyönä et al. (2002) ont observé que les lecteurs qui relisent souvent le texte, et particulièrement les titres du texte, manifestent de meilleures performances de rappel que les lecteurs qui relisent peu le texte. Répliquant ces résultats, Hyönä et Nurminen (2006) ont observé une corrélation positive élevée ($r = .51$) entre les temps de relecture et les

performances de rappel des textes. Plus les lecteurs reviennent sur des passages de texte déjà lus, et plus ils sont en mesure d'en rappeler le contenu (voir également Walczyk & Taylor, 1996). Donc les fixations régressives et de relecture 'nourrissent' les traitements de hauts niveaux, et favorisent une bonne compréhension du texte. De plus, des données recueillies au moyen d'un questionnaire après la lecture suggèrent que ces comportements de relecture seraient adoptés de manière consciente, stratégique par les lecteurs. Le caractère conscient et stratégique de ces comportements est un argument supplémentaire en faveur du lien présumé entre fixations régressives, temps de relecture, et traitements de hauts niveaux du texte.

La compréhension des textes expositifs requiert des traitements complexes. Le lecteur doit identifier et intégrer les différents thèmes du texte pour construire une représentation de la structure thématique. Nous allons voir dans la prochaine partie que les signaux visuels peuvent être d'une grande aide dans le traitement de la structure thématique des textes expositifs.

1.3.2. Effet des signaux visuels sur la compréhension de textes expositifs

Le champ de recherche relatif à l'influence signaux sur la compréhension de texte a des origines lointaines (e.g. Christensen & Stordahl, 1955 ; Klare, Mabry, & Gustafson, 1955) et il rassemble un grand nombre d'études. En raison de la diversité des signaux étudiés, des méthodologies utilisées, et des objectifs de recherche poursuivis, une apparente hétérogénéité semble s'en dégager.⁹

Une théorie des signaux développée par Lemarié et al. (2008) a récemment proposé des idées nouvelles qui apportent une grille de lecture et de la cohérence dans ce champ de recherche. Cette théorie, appelée SARA (*Signal Available Relevant Accessible Information*), est fondée sur l'idée que les signaux sont des instructions provenant de l'auteur qui ont pour but de guider le lecteur dans son traitement du texte. Deux postulats importants dans cette théorie sont (1) que l'on peut distinguer différentes informations véhiculées par les signaux – leur(s) *fonction(s) informationnelle(s)* – et (2) que les effets potentiels des signaux sont définis et limités par ces informations.

Par exemple, selon cette théorie, les variations typographiques comme la mise en

⁹ L'état de l'art de ce champ de recherche est volontairement synthétique et centré sur les processus de construction de la structure thématique des textes expositifs. Le lecteur intéressé par un examen plus détaillé des études citées dans cette partie est invité à consulter les thèses de Lemarié (2006) et Schmid (2001).

caractère gras et le soulignement ont une fonction d'emphase des mots marqués. Autrement dit, (1) l'information véhiculée par ce type de signal serait que les mots marqués revêtent une importance particulière et (2) l'effet de ce type de signal serait essentiellement limité au traitement des mots en question. Les résultats reportés dans la littérature sont globalement consistants avec ces deux assertions. On observe un meilleur rappel des informations marquées par des variations typographiques (Cashen & Leicht, 1970 ; Crouse & Idstein, 1972 ; Fowler & Backer, 1974 ; Glynn & Di Vesta, 1979 ; Klare et al., 1955 ; Lorch, Lorch, & Klusewitz, 1995 ; Nist & Hogrebe, 1987) et généralement une absence d'effet sur les informations non marquées (Dyson & Gregory, 2002 ; Golding & Fowler, 1992 ; Hartley, Bartlett, & Branthwaite, 1980 ; Lorch et al., 1995 ; voir cependant Glynn & Di Vesta, 1979). Lorch et al. (1995 ; expérience 2) observent qu'en plus d'être mieux rappelés, les mots signalés par une mise en majuscule sont lus plus lentement. Ce résultat pourrait également soutenir l'idée selon laquelle le lecteur accorde plus d'importance aux mots marqués mais il est sujet à caution car il a été démontré que la mise en majuscule *per se* ralentissait la vitesse de lecture (Tinker, 1963).

La structure thématique des textes expositifs est souvent signalée par des titres. Typiquement, toutes les sections et sous-sections du texte sont précédées par un titre qui indique au lecteur le thème de la (sous-)section à venir (e.g. l'énergie éolienne, l'énergie solaire). Dans la théorie SARA, la fonction informative de ce type de titre, dit titre thématique, est l'identification du thème. On peut donc postuler (1) que les titres thématiques devraient faciliter l'identification des thèmes et la construction de la représentation de la structure thématique, et (2) que le traitement du contenu du texte qui ne fait pas partie de la structure thématique (i.e. les informations subordonnées aux thèmes) devrait être peu affecté.

Premièrement, les lecteurs rappellent plus de thèmes après avoir lu un texte qui contient des titres thématiques (Hyönä & Lorch, 2004 ; Lorch & Lorch, 1996a ; Lorch, Lorch, Ritchey, McGovern, & Coleman, 2001 ; Sanchez, Lorch, & Lorch, 2001). Un résultat identique est observé si les textes contiennent, en plus ou à la place des titres, des paragraphes qui introduisent (au début du texte) ou résument (à la fin du texte) les différents thèmes (Lorch & Lorch, 1995, 1996b ; Lorch, Lorch, & Inman, 1993). Cet effet maintes fois répété confirme que les titres thématiques facilitent la construction de la structure thématique.

Deuxièmement, la mémoire des informations subordonnées aux thèmes n'est généralement pas affectée (Lorch & Lorch, 1995, 1996a, 1996b ; Lorch et al., 2001 ; Sanchez

et al., 2001 ; Surber & Schroeder, 2007). Une étude a reporté un effet positif des titres sur le rappel de ces informations (Lorch & Lorch, 1996b, expérience 2) et une autre un effet négatif (Lorch et al., 1993, expérience 2) mais ces effets n'ont pas été répliqués. Les titres affectant peu le rappel des informations subordonnées, le rappel global (i.e. la quantité totale d'informations rappelées) est en conséquence également peu affecté. La plupart des études rapportent une absence d'effet significatif sur le rappel global (Lorch & Lorch, 1996a, 1996b, expérience 1 et 3 ; Lorch et al., 1993 ; Sanchez et al., 2001 ; Mayer, Dyck, & Cook, 1984). On compte seulement deux études qui ont observé un meilleur rappel global en présence de titres (Lorch & Lorch, 1995 ; Lorch et al., 1996b, expérience 2).

L'indication des thèmes du texte n'est pas, potentiellement, la seule information fournie par les titres (Lemarié et al., 2008). Nous avons vu que la structure thématique comprenait non seulement les thèmes du texte mais aussi leurs relations hiérarchiques (Britton, 1994 ; Hyönä et al., 2003). Par exemple, dans un texte donné, le thème des énergies renouvelables peut englober les sous-thèmes énergie éolienne, énergie solaire, énergie marémotrice (Lorch et al., 1993). Ces relations hiérarchiques peuvent être signalées par les titres au moyen d'un système de numérotation (e.g. 1.1, 1.2, 1.3...) et/ou des variations typographiques (e.g. titres de plus hauts niveaux mis en gras ou soulignés) ou dispositionnelles (e.g. titres de plus bas niveaux d'avantage indentés). Dans la théorie SARA, le signalement des relations entre les thèmes renvoie à la fonction informationnelle d'organisation.

Lorch et ses collaborateurs (Lorch et al., 1993) ont développé un indicateur pour mesurer l'exactitude avec laquelle le lecteur se représente les relations que les thèmes entretiennent entre eux. Cet indicateur, le rappel 'corrélational', mesure la correspondance entre l'ordre d'apparition des thèmes dans le texte et l'ordre d'apparition des thèmes dans les protocoles de rappel des lecteurs. L'idée sous-jacente à cette mesure est que les lecteurs qui ont une représentation correcte des relations entretenues entre les thèmes devraient produire un rappel qui respecte l'ordre d'apparition des thèmes dans le texte. Alors que l'effet positif des titres sur le rappel des thèmes du texte est très robuste, l'effet du signalement des relations hiérarchiques entretenues entre les thèmes du texte sur le rappel corrélational l'est beaucoup moins. Les études qui utilisent cet indicateur ont observé tantôt un effet positif (Lorch & Lorch, 1996b, expérience 2 ; Lorch et al., 1993, 2001) et tantôt une absence d'effet (Hyönä & Lorch, 2004 ; Sanchez et al., 2001 ; Lorch & Lorch, 1996b, expériences 1 et 3). La pertinence

de cet indicateur pourrait être mise en cause. L'ordre d'apparition des thèmes dans le texte, d'une part, et les relations hiérarchiques qui lient ces thèmes, d'autre part, sont probablement des éléments distincts. En effet, à la lecture des textes utilisés dans ces expériences on peut constater qu'à l'intérieur d'un thème donné (e.g. les énergies renouvelables), l'ordre d'apparition des sous-thèmes (e.g. l'énergie éolienne, l'énergie solaire, l'énergie marémotrice) peut être pratiquement toujours interverti sans porter préjudice à la cohérence du texte. Donc une mesure de correspondance entre l'ordre d'apparition des thèmes dans le texte et dans les protocoles de rappel des lecteurs est probablement un indicateur peu pertinent pour appréhender l'exactitude, chez le lecteur, de la représentation des relations hiérarchiques entretenues entre les thèmes.

L'effet des titres a aussi été appréhendé avec des mesures on-line. Comme indiqué précédemment, les phrases qui introduisent un nouveau thème sont lues plus lentement que les phrases qui développent un thème introduit précédemment (Lorch et al., 1985). Cet effet serait dû au fait que les deux processus centraux dans le traitement de la structure thématique (i.e. l'identification des thèmes et l'identification de leurs relations) s'opèrent pendant la lecture de ces phrases. Hyönä et Lorch (2004) ont montré que lorsque le texte contient des titres thématiques, les phrases qui introduisent un nouveau thème sont lues plus rapidement. Comme les titres thématiques indiquent clairement le thème à venir et la relation hiérarchique qui lie ce dernier avec le thème précédent, ils facilitent probablement les traitements coûteux qui ralentissent la lecture des phrases introduisant un nouveau thème. On peut même penser qu'en présence de titres, ces traitements commencent à s'opérer dès la lecture du titre.

Selon la théorie SARA, les marques de paragraphe (indentation et/ou saut de ligne) ont une fonction informative de démarcation. Elles signalent une frontière entre deux sections de texte. Si les marques de paragraphes sont utilisées à bon escient par l'auteur du texte, elles concordent avec les ruptures de cohérence du texte (Giora, Meiran, & Oref, 1996 ; Goldman, Saul, & Coté, 1995 ; Heurley, 1997). Dans un texte expositif, les phrases qui introduisent un nouveau thème sont souvent précédées d'une marque de paragraphe. Dans un texte narratif, un changement d'épisode (Hyönä, 1994) ou un changement de perspective du narrateur (Baccino & Pynte, 1998 ; Schmid & Baccino, 2002) est aussi souvent précédé d'une marque de paragraphe. Ainsi, certains auteurs (e.g. Goldman et al., 1995 ; Hyönä, 1994) ont fait l'hypothèse que les marques de paragraphe pouvaient signaler les ruptures de cohérence et faciliter le traitement de ces ruptures. Mais on n'observe généralement pas d'effet des

marques de paragraphe sur les temps de lecture (Baccino & Pynte, 1998 ; Goldman et al., 1995 ; Hyönä, 1994 ; Stark, 1988 ; voir cependant Schmid & Baccino, 2002) ou le rappel des phrases indentées (Goldman et al., 1995).

En résumé, les titres thématiques sont très utiles dans la construction de la représentation de la structure thématique. En revanche, l'effet des marques de paragraphes semble très limité. Nous allons voir dans la prochaine partie que les informations fournies par les titres et par les marques de paragraphes (à travers l'information de démarcation véhiculée) peuvent avoir un effet important sur les processus en jeu dans une tâche de recherche d'information dans un texte.

1.3.3. Effet des signaux visuels sur la recherche d'information dans un texte expositif

Nous avons vu que l'effet des signaux visuels sur la compréhension de texte a été extensivement étudié. En comparaison, beaucoup moins d'études ont examiné l'effet des signaux visuels sur la recherche d'information dans un texte et elles se sont essentiellement focalisées sur l'effet des titres (Hartley & Trueman, 1983, 1985 ; Klusewitz & Lorch, 2000 ; Kobasigawa, Lacasse, & MacDonald, 1988). Ces études ont examiné l'effet des titres en utilisant une tâche de recherche d'information assez simple : la localisation d'information spécifique.

Ce qui caractérise la tâche de localisation, par rapport à d'autres tâches de recherche plus complexes, c'est que l'information cible se trouve à un endroit unique dans le texte. Typiquement, cette tâche nécessite simplement de trouver l'information cible dans le texte et d'indiquer son emplacement (Cataldo & Oakhill, 2000 ; Hartley & Trueman, 1983, 1985 ; Klusewitz & Lorch, 2000 ; Kobasigawa et al., 1988). A l'inverse, les tâches de recherche plus complexes nécessitent parfois l'intégration de plusieurs informations localisées à des endroits distants dans le texte (Dreher & Guthrie, 1990 ; Rouet, 2003 ; Rouet, Vidal-Abarca, Bert Erbou, & Millogo, 2001).

Dreher & Guthrie (1990) ont proposé un modèle de recherche d'information qui comprend cinq étapes : a) la formation d'un but de recherche sur la base de la question, b) la sélection d'une catégorie, i.e. d'une partie du texte à inspecter, c) l'extraction d'information, i.e. la lecture d'une partie du texte, d) l'intégration des nouvelles informations et des informations extraites antérieurement, et e) le retour aux quatre premières étapes jusqu'à ce

qu'une réponse satisfaisante puisse être produite. Ce modèle est bien adapté à une tâche de recherche d'information complexe. Il est un peu moins approprié à une tâche de localisation car cette tâche ne nécessite pas l'intégration de plusieurs informations extraites à des endroits distants dans le texte (étape d dans le modèle). Cependant, ce modèle rend compte d'une composante fondamentale de l'activité de recherche d'information quelle qu'elle soit : le caractère sélectif de l'activité (étape b). En effet, dans ce type de tâche, contrairement à une tâche de lecture/compréhension, le lecteur (ou le 'chercheur') n'a pas intérêt à lire le texte dans sa totalité. Il doit, au contraire, inspecter le texte de manière sélective (Guthrie & Mosenthal, 1987).

Toutes les études qui ont examiné l'effet des titres sur la localisation d'information montrent que ceux-ci facilitent l'activité. Le temps total de recherche est plus court quand le texte contient des titres que lorsqu'il n'en contient pas (Hartley & Trueman, 1983, 1985 ; Kobasigawa et al., 1988). Ce résultat est consistant quelque soit la position des titres (dans le corps du texte ou en marge du texte), et que le contenu des titres soit à la forme interrogative ou non (Hartley & Trueman, 1983, 1985).

Plus récemment, Klusewitz & Lorch (2000) ont répliqué et étendu ces résultats. Un objectif important de leur étude était d'isoler l'effet des différentes informations fournies par les titres et les signaux visuels associés. A la lecture de cet article, on peut constater que trois fonctions informationnelles mises au jour dans la théorie SARA (Lemarié et al., 2008) y sont déjà identifiées : l'organisation (les relations hiérarchiques entre les thèmes du texte), l'identification du thème ('information de contenu' dans l'article), et la démarcation ('information de section' dans l'article).

Pour isoler la contribution respective de ces trois types d'information, quatre versions de texte sont créées. Comme le montre la Figure 5, dans la première version de texte, les frontières entre les différentes sections, l'identité des thèmes et leurs niveaux hiérarchiques respectifs sont signalés par les titres. Donc cette version contient les trois types d'information étudiés : l'organisation, l'identification des thèmes, et la démarcation. Dans la deuxième version de texte, les frontières entre les différentes sections et l'identité des thèmes sont signalés mais pas le niveau hiérarchique des thèmes. Cette version contient les deux types d'information identification des thèmes et démarcation. Dans la troisième version, seules les frontières entre les différentes sections sont signalées par des astérisques, de telle sorte que cette version contient uniquement l'information de démarcation entre les sections de texte.

Version 1:

I. ENERGY PROBLEMS

The fossil fuels of coal, oil and gas share several important characteristics that helped establish them as favored sources of energy ...

A. DWINDLING FUEL RESOURCES

Coal, Oil, gas, and radioactive minerals are certainly abundant natural resources ...

(1) HAZARDOUS PRODUCTION METHODS

One implication of our dwindling fuel reserves is that methods of production are becoming increasingly hazardous ...

Version 2:

ENERGY PROBLEMS

The fossil fuels of coal, oil and gas share several important characteristics that helped establish them as favored sources of energy ...

DWINDLING FUEL RESOURCES

Coal, Oil, gas, and radioactive minerals are certainly abundant natural resources ...

HAZARDOUS PRODUCTION METHODS

One implication of our dwindling fuel reserves is that methods of production are becoming increasingly hazardous ...

Version 3:

The fossil fuels of coal, oil and gas share several important characteristics that helped establish them as favored sources of energy ...

Coal, Oil, gas, and radioactive minerals are certainly abundant natural resources ...

One implication of our dwindling fuel reserves is that methods of production are becoming increasingly hazardous ...

Version 4:

The fossil fuels of coal, oil and gas share several important characteristics that helped establish them as favored sources of energy ...

Coal, Oil, gas, and radioactive minerals are certainly abundant natural resources ...

One implication of our dwindling fuel reserves is that methods of production are becoming increasingly hazardous ...

Figure 5 : Illustration des versions de texte utilisées dans l'étude de Klusewitz et Lorch (2000).

Enfin, la quatrième version, la version ‘contrôle’, ne contient aucune des trois informations étudiées. De manière orthogonale, les auteurs ont également examiné l’effet de la familiarité avec le texte engendrée par des recherches précédentes et/ou des lectures précédentes du texte.

Les résultats obtenus dans la comparaison des différentes versions de texte montrent que les trois types d’information dégagés ont des effets contrastés sur l’activité de recherche. L’information relative aux thèmes (identification) contenue dans les titres accélère le temps d’inspection des pages. Donc ce type d’information facilite clairement l’activité de recherche. Par contre, aucun résultat ne suggère que l’information concernant le niveau hiérarchique des thèmes est utile (organisation). L’information de démarcation entre les sections ne facilite pas la recherche. Quand le lecteur est un peu familier avec le texte, après avoir déjà lu le texte ou réalisé une recherche, l’information de démarcation ralentit même la recherche. Enfin, la familiarité avec le texte accélère la recherche. Les auteurs indiquent que parmi tous ces résultats, l’effet négatif de l’information de démarcation est surprenant. Ils proposent que cet effet pourrait être dû au matériel textuel spécifique utilisé dans l’expérience. Les textes utilisés comprenaient plusieurs séparations de sections sur chaque page (souvent trois). Les auteurs font l’hypothèse qu’avec un texte moins fréquemment divisé, l’information de démarcation (‘information de section’ dans l’article original) pourrait accélérer la recherche.

Il est possible que le procédé visuel particulier utilisé pour signaler les démarcations entre les sections soit aussi à mettre en cause. Comme l’illustre la Figure 5, des astérisques étaient utilisés pour signaler les frontières entre les différentes sections. Ce procédé étant pour le moins rarement utilisé, l’information communiquée (les frontières de section) a peut être été illisible. De plus, son caractère inhabituel a probablement été source de perturbation dans l’activité de recherche. Les marques de paragraphes sont des indicateurs de démarcation plus habituels. Peut être serait-il plus judicieux de tester l’effet de la fonction de démarcation au moyen de ce type de signal.

1.4. SYNTHÈSE ET PROBLÉMATIQUE GÉNÉRALE

L'empan perceptif se définit comme la région du champ visuel autour du point de fixation à l'intérieur de laquelle de l'information utile est extraite (Rayner & Livensedge, 2004). Il est communément admis dans la littérature que la taille de cet empan est très limitée en lecture et en recherche visuelle dans un texte. En lecture, l'empan perceptif ne s'étendrait pas au-delà de la ligne fixée (Pollatsek et al., 1993 ; Rayner, 1998). Deux contraintes de notre système visuel et cognitif seraient à l'origine de cet état de fait. Premièrement, notre acuité visuelle décroît rapidement au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la vision fovéale (la région centrale du champ visuel). Si bien que les lettres et les mots, qui nécessitent une bonne acuité visuelle pour être identifiés, ne peuvent pas être lus sans difficulté en vision extrafovéale (Rayner & Bertera, 1979 ; Rayner et al., 1981). Deuxièmement, même si l'acuité visuelle est suffisante pour percevoir les lettres et les mots à une certaine distance au-dessus et en dessous de la ligne lue, ces informations seraient ignorées car elles ne seraient pas utiles à l'activité normale de lecture (Pollatsek et al., 1993). Il en résulte donc une région extrêmement étroite en lecture (cf. Figure 4) et guère plus étendue en recherche visuelle dans un texte (deux lignes en dessous de la ligne fixée, Pollatsek et al., 1993, expérience 2).

Cependant, toutes les expériences précédentes menées sur l'empan perceptif ont systématiquement utilisé des textes totalement exempts de signaux visuels (e.g. titres, marques de paragraphe). Les caractéristiques de l'empan perceptif pourraient être différentes lorsque les textes contiennent de tels signaux, et ceci pour deux raisons. Premièrement, la perception des signaux visuels requiert une acuité visuelle moindre que la perception des lettres et des mots. Deuxièmement, de nombreuses études montrent que les signaux visuels sont très utiles dans la compréhension et la recherche d'information dans un texte.

L'effet des titres sur la compréhension des textes expositifs a été particulièrement documenté dans la littérature. Une compréhension réussie de ce type de texte nécessite la construction d'une représentation de la structure thématique (Britton, 1994). Le lecteur doit (a) identifier les différents thèmes abordés dans le texte et (b) identifier les relations hiérarchiques qu'ils entretiennent. Ces processus, assez coûteux pour le lecteur, se dérouleraient préférentiellement aux jonctions entre les différentes sections du texte (Hyönä, 1995). Les titres facilitent largement les processus de construction de la représentation de la structure thématique car ils signalent les thèmes abordés et leurs relations hiérarchiques (Hyönä & Lorch, 2004). Les bons lecteurs (i.e. les lecteurs qui manifestent de bonnes

performances de rappel) ne s'y trompent pas puisqu'ils relisent fréquemment les titres (Hyönä et al., 2002 ; Hyönä & Nurminen, 2006).

Les titres facilitent également la recherche d'information dans un texte expositif (Hartley & Trueman, 1985). Cet effet facilitateur serait surtout dû à l'information sur l'identité des thèmes fournie par les titres. Les informations sur les relations hiérarchiques entretenues entre les thèmes ne seraient pas utiles à la recherche (Klusewitz & Lorch, 2000). Enfin, on peut faire l'hypothèse que les marques de paragraphe pourraient faciliter la recherche si elles signalent clairement les démarcations entre les différentes sections du texte.

En conclusion, l'hypothèse centrale à l'origine des trois expériences reportées dans cette thèse est que l'empan perceptif peut s'étendre au-delà des régions définies par les études antérieures, lorsque la structure thématique du texte est mise en évidence par des signaux visuels. Plus précisément, l'empan perceptif pourrait s'étendre au-delà de la ligne de texte fixée en lecture (expérience 1 et 2) et au-delà de deux lignes supplémentaires au-dessus et en dessous de la ligne fixée en recherche d'information dans un texte (expérience 3).

2. Expérimentations

2.1. EXPERIENCE 1 : LIMITES VERTICALES DE L'EMPAN PERCEPTIF EN LECTURE : LE CAS D'UN TEXTE SIGNALE

2.1.1. Introduction

Le but de la présente expérience est de réexaminer, à la suite de l'étude de Pollatsek et al. (1993), les limites verticales de l'empan perceptif en lecture avec un texte expositif signalé. Notre hypothèse est que l'empan perceptif peut s'étendre au-delà de la ligne fixée, c'est-à-dire au-delà de la zone délimitée antérieurement par Pollatsek et al., lorsque le texte contient des signaux visuels qui mettent en évidence la structure thématique. De manière consistante avec les précédentes études menées sur l'empan perceptif, la technique de la fenêtre mobile a été privilégiée (McConkie & Rayner, 1975).

Dans cette expérience, les participants ont lu et rappelé un texte expositif visuellement signalé. Ils avaient pour consigne de lire attentivement le texte pour le 'comprendre' et pour pouvoir 'répondre à des questions' après la lecture. La consigne de lecture ne faisait pas référence au rappel subséquent pour ne pas provoquer de stratégies de lecture particulière. Comme le montre la Figure 6 (condition normale), la structure thématique du texte était fortement signalée par des titres et par la mise en retrait des paragraphes. Chaque section et sous-section était précédée d'un titre qui en annonçait le thème, et leur place dans la structure hiérarchique était signalée par des variations typographiques telles que la mise gras ou en majuscule des titres. De plus, plus le niveau hiérarchique des (sous-)sections était bas, plus le paragraphe correspondant était indenté.

Le texte était présenté soit en plein écran (condition normale) soit à travers une fenêtre mobile continuellement centrée sur le point de fixation (condition fenêtre). La fenêtre n'avait aucune limite horizontale et couvrait 3° d'angle visuel en hauteur. La fenêtre était assez grande pour contenir la ligne fixée et environ trois lignes de texte au-dessus et en dessous. Comme l'illustre la Figure 6, le texte placé au-delà de la fenêtre disparaissait totalement.

Conformément au principe de base qui sous-tend l'utilisation de la technique de la fenêtre mobile, si l'empan perceptif ne s'étend pas au-delà de la ligne fixée, aucune différence majeure ne devrait apparaître entre la condition normale et la condition fenêtre, tant du point de vue des temps de lecture que des performances de rappel. Au contraire, si l'empan perceptif s'étend au-delà de la région couverte par la fenêtre, l'activité de lecture devrait être perturbée. Auquel cas, ces perturbations pourraient se manifester de la manière suivante.

Comme le montre la Figure 6, la taille de la fenêtre mobile était trop petite pour contenir deux titres à la fois. Le contraste visuel entre les différents niveaux de titre (e.g. mise en gras des titres de hauts niveaux uniquement) n'était pas directement perceptible dans la condition fenêtre. Le contraste visuel entre les différents niveaux de retrait était aussi seulement partiellement visible dans cette condition. Par conséquent, les relations hiérarchiques entretenues entre les thèmes du texte étaient beaucoup moins visibles dans la condition fenêtre que dans la condition normale. Or, la compréhension d'un texte expositif requiert l'identification des relations hiérarchiques que les thèmes du texte entretiennent (Britton, 1994 ; Lorch et al., 1985). Ces relations étant plus difficiles à établir dans la condition fenêtre, la compréhension du texte devrait être perturbée. Cette perturbation pourrait se manifester par un ralentissement du rythme général de lecture et/ou des différences plus subtiles. Nous avons vu qu'à chaque fois que le lecteur rencontre un nouveau thème, il tente d'établir la relation entre ce nouveau thème et les thèmes précédents. Ce processus coûteux semble prendre place dès l'introduction du nouveau thème (Hyönä, 1995). Chaque thème étant signalé par un titre thématique dans cette expérience, l'établissement de ces relations devrait avoir lieu (ou tout au moins débiter) pendant la lecture des titres (Hyönä & Lorch, 2004). Si les relations entre les thèmes sont effectivement plus difficiles à identifier dans la condition fenêtre, ces difficultés pourraient se traduire par un accroissement des temps de lecture des titres dans cette condition par rapport à la condition normale.

Enfin, nous avons vu que les lecteurs reviennent fréquemment sur des passages de texte déjà lus pour les relire. Les titres, en particulier, sont très fréquemment relus (Hyönä et al., 2002 ; Hyönä & Nurminen, 2006). La fenêtre mobile pourrait perturber ces comportements de relecture. Il est communément admis qu'avant qu'une saccade ait lieu, l'attention visuelle est dirigée vers la cible de la saccade pour la programmer (Rayner, 1998). Dans la condition normale, le lecteur pourrait percevoir les titres du texte bien au-delà de la ligne lue, et programmer aisément des saccades de relectures dans leur direction. Dans la condition fenêtre, le lecteur ne pouvant pas percevoir les titres en vision extrafovéale, la programmation de ces saccades devrait être plus difficile. Ces difficultés pourraient pousser le lecteur à restreindre ses comportements de relecture. Par conséquent, la présence de la fenêtre pourrait réduire les temps de relecture observés sur les titres. Nous avons également vu que ces relectures sont partie prenante des processus de hauts niveaux de compréhension du texte, car plus ces temps de relecture sont importants, plus le rappel subséquent du texte est bon (Hyönä et al., 2002 ; Hyönä & Nurminen, 2006). Une perturbation de ces comportements de

relecture devrait s'accompagner d'une perturbation des processus de compréhension associés. De moins bonnes performances de rappel pourraient résulter *in fine* de la perturbation de ces processus de compréhension.

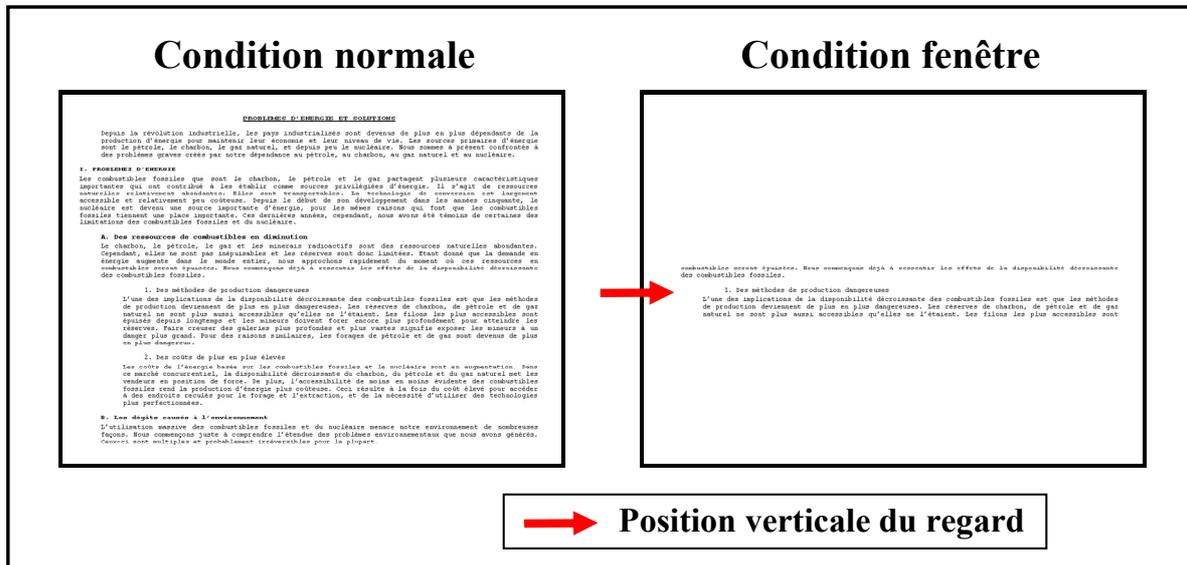


Figure 6 : Illustration du dispositif de fenêtre mobile utilisé dans l'expérience

2.1.2. Méthode

Participants

Cinquante-neuf étudiants de l'université de Toulouse le Mirail ont participé à cette étude en échange de tickets de cinéma. Les données relatives à trois sujets ont été éliminées en raison d'un calibrage oculométrique insatisfaisant. L'âge des 56 participants restant était compris entre 18 et 31 ans, avec un âge moyen de 22 ans. Quarante et un participants étaient de sexe féminin. Le français était leur langue maternelle, ils n'avaient pas de problème de vue et ils étaient naïfs au regard des objectifs de l'expérience.

Dispositif

Les textes ont été présentés sur un moniteur LG Flatron L2010P 20 pouces connecté à un ordinateur HP Compaq Pentium IV qui était à son tour connecté à un oculomètre modèle 504 de la société Applied Science Laboratories. Le moniteur avait une fréquence de rafraîchissement de 60 hertz. L'oculomètre utilisé était un système vidéo déporté. Il diffusait une lumière infrarouge en direction de l'œil du participant, et enregistrait la position du reflet

cornéen et de la pupille toutes les 20 ms.¹⁰ L'enregistrement était monoculaire. L'oculomètre était placé juste en dessous du moniteur. Une mentonnière était utilisée pour restreindre les mouvements de tête des participants, de telle sorte que la précision spatiale du dispositif était d'environ 0,5 degrés d'angle visuel. La distance entre l'écran et l'œil des participants a été maintenue constante à 80 cm. A cette distance, un caractère couvrait horizontalement 0,22 degrés d'angle visuel et verticalement moins de 0,30 degrés. L'écran couvrait environ 27 degrés horizontalement et 21 degrés verticalement.

La fenêtre mobile couvrait verticalement 3,2 degrés d'angle visuel et n'avait aucune limite horizontale (cf. Figure 6). Elle était continuellement centrée sur la position courante du regard avec une restriction notoire. Une fois que la fenêtre était centrée sur une fixation, sa position ne changeait pas tant que les fixations suivantes restaient à une distance verticale inférieure à 1 cm (0,7°) du centre de la fenêtre. Dès qu'une nouvelle fixation tombait au-delà de cette marge de tolérance, la fenêtre se recentrait sur la nouvelle fixation. Le but de cette procédure était d'éviter un tremblement intempestif de la fenêtre lorsque le regard du lecteur restait approximativement sur la même ligne de texte. En effet, ce tremblement aurait pu être occasionné par des micro-saccades, de petites imprécisions dans le suivi du regard, ou tout simplement des changements mineurs de position verticale du regard tout en restant sur une ligne de texte donnée. La taille de la fenêtre a été déterminée de telle sorte qu'au moins une ligne de texte supplémentaire à la ligne fixée soit toujours visible quelque soit la position du regard. Les mots suivants les mots immédiatement fixés étaient toujours visibles en vision parafovéale ou périphérique de telle sorte que la programmation des saccades vers ces derniers était préservée. Pour la même raison, quand les participants changeaient de page de texte, avant que la prochaine page ne s'affiche, une page blanche contenant une croix placée dans le coin en haut à gauche apparaissait. Dès que le participant fixait cette croix, la page de texte suivante s'affichait automatiquement. La localisation de la croix dans ces pages intermédiaires (i.e. en haut de la page) permettait la visibilité immédiate des premiers mots de la nouvelle page de texte. Enfin, il est à noter que la fenêtre n'était pas assez large pour inclure deux titres en même temps, si bien que le contraste visuel entre les différents niveaux

¹⁰ Notre oculomètre avait une fréquence d'échantillonnage de 50 hertz (20 ms). La résolution temporelle des oculomètres utilisés dans les études mettant en pratique la technique de la fenêtre mobile est souvent plus élevée (voir cependant Denbuurman et al., 1981, pour une résolution temporelle égale à la notre). Certains oculomètres utilisés dans les études précédentes comme le système EyeLink II ont une résolution temporelle de 4 ms (e.g., Pomplun et al., 2001). D'autres oculomètres comme le système Purkinje ont une résolution de 1 ms (e.g., Rayner et al., 1980). Une fréquence d'échantillonnage faible n'est évidemment pas idéale lorsqu'on utilise la technique de la fenêtre mobile, mais l'on peut présumer que la fenêtre utilisée dans la présente étude est suffisamment large pour éviter tout problème majeur relatif à cette question.

hiérarchiques des titres n'était pas perceptible dans la condition fenêtre. En résumé, la fenêtre était conçue pour contrôler la quantité d'information visible à l'écran sans occasionner de gêne visuelle.

Matériel

Deux textes expositifs ont été traduits et adaptés à partir de textes utilisés dans une précédente étude (Klusewitz & Lorch, 2000). Un premier texte traitait de problématiques énergétiques (cf. Annexe 1) et l'autre de la vie des sapeurs-pompiers (cf. Annexe 2). Les deux textes abordaient successivement 19 thèmes différents et ils étaient organisés hiérarchiquement en trois niveaux de structure (cf. Figure 7). Les 12 thèmes centraux (e.g. les marées noires, l'effet de serre et les pluies acides) constituaient le niveau hiérarchique le plus bas (i.e. les sous-sections). Au second niveau hiérarchique on comptait 5 sections (e.g. le thème surordonné des dégâts environnementaux), chacune incluant deux ou trois thèmes centraux. Ces sections se regroupaient en 2 grandes parties qui formaient le troisième niveau hiérarchique (e.g. le thème surordonné des problèmes d'énergie). Chaque texte disposait d'un titre général et commençait par une brève introduction.

Problèmes d'énergie et solutions	Lutte contre les incendies et prévention
I. Problèmes d'énergie	I. La lutte contre les incendies
A. Des ressources de combustibles en diminution	A. Le déroulement d'une intervention
1. Des méthodes de production dangereuses	1. La reconnaissance
2. Des coûts de plus en plus élevés	2. L'inspection
B. Les dégâts causés à l'environnement	B. Des véhicules spécifiques
1. Les marées noires	1. Le bombardier d'eau
2. Le réchauffement de la planète	2. La grande échelle
3. Les pluies acides	3. Le bateau pompe
C. Les problèmes de santé	C. Les missions du sapeur-pompier
1. Les problèmes respiratoires et cardiaques	1. Les catastrophes naturelles
2. Le cancer et les effets génétiques	2. Les accidents de la route
II. Energie: quelles solutions?	II. La prévention des incendies
A. L'économie de l'énergie	A. La sensibilisation du public
1. La plantation d'arbres	1. Les risques domestiques
2. Les taxes à la consommation	2. Les risques industriels
3. L'utilisation de l'électronique	3. Les risques forestiers
B. Le développement de sources énergétiques alternatives	B. Les normes de sécurité
1. L'énergie océano-thermique	1. Les salles de spectacle
2. L'énergie géo-thermique	2. Les immeubles d'habitation

Figure 7 : Structure thématique des deux textes expérimentaux

Plusieurs signaux visuels ont été utilisés pour mettre en valeur la structure thématique des textes. Chaque partie ou sous-partie était précédée d'un titre qui mentionnait explicitement son thème. Le niveau hiérarchique de chaque section était visuellement signalé par des procédés typographiques et dispositionnels (i.e. relatifs à la position du texte sur la page). Les titres des deux grandes parties – le plus haut niveau hiérarchique – étaient inscrits en lettres capitales et en gras. Les titres des cinq sections – le niveau hiérarchique intermédiaire – étaient en gras mais pas en lettres capitales. Les titres des 12 sous-sections – le plus bas niveau hiérarchique – n'étaient ni en gras ni en lettres capitales et d'une taille plus petite. Concernant les procédés dispositionnels, plus le niveau hiérarchique de la section était bas, plus le titre et le paragraphe correspondant étaient mis en retrait (cf. Figure 6). Chaque texte occupait trois pages-écrans et comprenait à peu près 1500 mots.

En plus de ces deux textes expérimentaux, un court texte d'entraînement traitant des caractéristiques géographiques et économiques du Brésil a été construit. Il occupait deux pages-écrans et comprenait à peu près 650 mots (cf. Annexe 3).

Procédure

Pour commencer, les participants étaient soumis à un test d'empan de lecture (Daneman & Carpenter, 1980) pour contrôler la variabilité inter-individuelle. Une version française de ce test construite par Desmette, Hupet, Schelstraete, et Van der Linden (1995) a été utilisée. Au cours de ce test, les participants lisaient à voix haute des séries de phrases sans rapport les unes avec les autres. Après avoir lu une série comprenant un nombre donné de phrases, ils devaient rappeler le dernier mot de chaque phrase. Le score obtenu par le participant correspondait au pourcentage de mots correctement rappelés.

Les participants étaient affectés au hasard dans les différentes conditions expérimentales avec la contrainte d'avoir un nombre égal de participants dans chacune d'entre elles (condition fenêtre avec texte sur l'énergie, condition normale avec texte sur l'énergie, condition fenêtre avec texte sur les sapeurs-pompiers, et condition normale avec texte sur les sapeurs-pompiers). L'oculomètre était calibré au moyen d'un écran comprenant une grille de neuf points couvrant pratiquement totalement l'écran. L'exactitude du calibrage était ensuite contrôlée avec le même écran contenant les neuf points et le calibrage était corrigé si nécessaire.

Les participants avaient pour consigne de lire le texte avec attention, à leur propre rythme, pour bien le ‘comprendre’. Ils étaient informés qu’ils auraient à ‘répondre à des questions’ sur le texte après la lecture.¹¹ Les participants tournaient les pages du texte en appuyant sur le bouton droit de la souris. Avant qu’une nouvelle page de texte soit affichée, une page blanche comprenant une croix placée en haut à gauche de la page-écran apparaissait. Dès que le regard du participant se trouvait sur cette croix, la page de texte suivante s’affichait automatiquement (cf. Dispositif). Le texte d’entraînement était lu dans la même condition – normale ou fenêtre. La lecture du texte d’entraînement avait pour but de familiariser les participants de la condition fenêtre avec le dispositif de fenêtre mobile. Il n’était pas exigé de le lire très attentivement.

A l’issue de la lecture du texte expérimental, les participants avaient pour consigne de rappeler par écrit tout ce dont ils se souvenaient. Ils étaient informés qu’ils disposaient d’autant de temps que nécessaire. L’expérience durait approximativement 50 minutes.

2.1.3. Résultats

Toutes les mesures ont été analysées avec une analyse de variance inter-sujets 2 (fenêtre : condition normale vs. condition fenêtre) × 2 (texte : énergie vs. sapeurs-pompiers). Les groupes expérimentaux ne présentaient aucune différence au niveau de leur score d’empan de lecture comme l’atteste une absence d’effet des deux facteurs expérimentaux sur cette variable ($F_s < 1$). Quelque soit la variable dépendante en question, aucune interaction entre les facteurs fenêtre et texte n’approche le seuil de signification. Donc, par soucis de clarté, les moyennes des textes sur l’énergie et sur les sapeurs-pompiers sont agrégées dans le Tableau 1.

Rappel

Les performances de rappel des participants ont été déterminées en adoptant la méthodologie développée par Lorch (1993). En cohérence avec celle-ci, les textes expérimentaux ont été divisés en unités d’idées correspondant aux principales propositions des phrases. Le nombre de thèmes rappelés a été déterminé en fonction des unités d’idées rappelés parmi celles constitutives des 12 thèmes centraux des textes (Annexe 4). Un thème était considéré comme rappelé si le participant y faisait explicitement référence dans son

¹¹ La consigne exacte était la suivante : ‘Dans un premier temps vous allez lire un texte puis, dans un deuxième temps, vous allez répondre à des questions sur ce texte. Votre objectif est de le lire très attentivement, à votre rythme, afin de bien le comprendre’.

protocole de rappel ou si au moins une de ses unités d'idée y était mentionnée. Les moyennes de cette mesure sont présentées dans le Tableau 1. Pour contrôler la fiabilité de la méthode, deux juges ont traité un sous-ensemble de 14 protocoles expérimentaux. L'accord entre les deux juges sur les thèmes spécifiques rappelés était bon – $\kappa = .90$. L'analyse de variance menée pour cette mesure révèle un effet significatif du facteur fenêtre, $F(1, 57) = 10.55$, $MSE = .417$, $p < .01$, $\eta_p^2 = .17$. Les participants rappellent moins de thèmes après avoir lu un texte dans la condition fenêtre ($M = .41$) que dans la condition normale ($M = .58$).

Tableau 1 : Résultats concernant le rappel et les mesures oculaires dans les conditions normale et fenêtre

	Condition normale		Condition fenêtre		Diff.
	<i>M</i>	<i>SE</i>	<i>M</i>	<i>SE</i>	
<i>Performance de rappel</i>					
Nombre de thèmes rappelés (%)	.58	.04	.41	.03	.17**
<i>Mesures oculaires globales</i>					
Temps total de fixation	413 576	18 977	393 048	18 377	20 528
Nombre total de fixations	1,311	68	1,223	34	88
Pourcentage de régressions (%)	.24	.01	.25	.01	-.01
Longueur saccadique (°)	.95	.01	.95	.01	0
<i>Mesures oculaires locales</i>					
Temps de fixation de premier-passage sur les titres	23 609	1 306	23 491	1 177	118
Nombre de fixations de premier-passage sur les titres	67	3	69	3	-2
Temps de fixation de second-passage sur les titres	7 070	1 059	3 486	694	3 584**
Nombre de fixations de second-passage sur les titres	30	7	14	3	16*
Temps total de fixation sur les titres	30 679	1 499	26 977	1 583	3 702
Nombre total de fixations sur les titres	97	7	83	5	14

Note. Tous les temps de fixation sont en ms. $n = 28$ dans les deux conditions. * $p < .05$. ** $p < .01$.

Mesures oculaires

Les mesures oculaires examinées regroupent des mesures globales et locales. Les mesures globales comprennent le temps total de fixation, le nombre total de fixations, le pourcentage de régressions, et la longueur saccadique (Rayner, 1998). Les mesures locales concernent les aires d'intérêt cibles de l'étude à savoir les titres des textes. Les mesures locales comprennent le temps de fixation de premier-passage (first-pass fixation time en anglais), le nombre de fixations de premier passage, le nombre de fixations de second-passage

(second-pass fixation time en anglais), le nombre de fixations de second-passage, le temps total de fixation, et le nombre total de fixation (Rayner, 1998). Les fixations sur une aire d'intérêt (i.e. un titre), de la première fixation dans l'aire, jusqu'à ce que le regard sorte de l'aire en question, sont des fixations de premier-passage. Les fixations qui reviennent sur une aire, pour relire son contenu, sont des fixations de second-passage.¹²

Les moyennes des mesures globales sont reportées dans le Tableau 1. L'analyse du temps total de fixation, du nombre total de fixation, du pourcentage de régressions, et de la longueur saccadique ne révèle aucun effet significatif ($F_s < 1.9$, $ps > .17$).

Avant de réaliser les analyses locales des données oculaires, la précision spatiale de ces données a été vérifiée de la manière suivante. Le pattern global des fixations de chaque participant, pour chaque page de texte, était visualisé grâce à un logiciel créé spécifiquement (cf. Figure 8). Les pages de texte étant visuellement structurées par des blancs (e.g. entre les paragraphes), les biais éventuels, plus ou moins globaux, dans la précision de l'enregistrement du pattern oculaire étaient flagrants. Lorsqu'un tel biais était visible, il était corrigé à l'aide du logiciel. Par exemple, lorsqu'un biais décalait sensiblement la position de toutes les fixations vers le bas ou vers le haut, le pattern global de fixation était sélectionné et décalé jusqu'à ce qu'il coïncide avec la localisation du texte.

Les moyennes des mesures locales sont présentées dans le Tableau 1. L'analyse du temps de fixation de premier-passage sur les titres révèle un effet du facteur texte, $F(1,57) = 8.56$, $MSE = 329\ 800\ 179$, $p < .01$, $\eta_p^2 = .14$, tout comme l'analyse du nombre de fixations de premier-passage sur les titres, $F(1,57) = 11.13$, $MSE = 1\ 897$, $p < .01$, $\eta_p^2 = .18$. Les titres du texte 'énergie' sont lus avec plus de fixations de premier-passage et plus de temps de fixation de premier-passage ($M = 74$ et $M = 25\ 976$, respectivement) que les titres du texte 'sapeurs-pompiers' ($M = 62$ et $M = 21\ 123$, respectivement). Cependant, une analyse supplémentaire montre que cet effet peut être entièrement attribué au fait que les titres du texte 'énergie' contiennent légèrement plus de caractères (570) que les titres du texte 'sapeurs-pompiers' (472). En effet, l'effet du facteur texte disparaît si, avant de conduire l'analyse de variance, le nombre de fixations de premier-passage et le temps de fixation de premier-passage sont pondérés en fonction du nombre de caractères contenus dans les titres en question ($F < 1$ dans les deux cas).

¹² Toutes ces mesures sont des mesures standard couramment utilisées (cf. Rayner, 1998). Les fixations de second-passage (second-pass fixations) sont également appelées fixations de retour en arrière (look-back fixations) dans la littérature (Hyönä & Lorch, 2004 ; Kaakinen, Hyönä, & Keenan, 2003).

Pattern oculaire avant correction

Echier

PROBLEMES D'ENERGIE ET SOLUTIONS

Depuis la révolution industrielle, les pays industrialisés sont devenus de plus en plus dépendants de la production d'énergie pour maintenir leur économie et leur niveau de vie. Les sources primaires d'énergie sont le pétrole, le charbon, le gaz naturel, et depuis peu le nucléaire. Nous sommes à présent confrontés à des problèmes graves créés par notre dépendance au pétrole, au charbon, au gaz naturel et au nucléaire.

I. PROBLEMES D'ENERGIE

Les combustibles fossiles que sont le charbon, le pétrole et le gaz partagent plusieurs caractéristiques importantes qui ont contribué à les établir comme sources privilégiées d'énergie. Il s'agit de ressources naturelles relativement abondantes. Elles sont transportables. La technologie de conversion est largement accessible et relativement peu coûteuse. Depuis le début de son développement dans les années cinquante, le nucléaire est devenu une source importante d'énergie, pour les mêmes raisons qui font que les combustibles fossiles tiennent une place importante. Ces dernières années, cependant, nous avons été témoins de certaines des limitations des combustibles fossiles et du nucléaire.

A. Des ressources de combustibles en diminution

Le charbon, le pétrole, le gaz et les minerais radioactifs sont des ressources naturelles abondantes. Cependant, elles ne sont pas inépuisables et les réserves sont donc limitées. Puisqu'il y a une demande en énergie croissante dans le monde entier, nous approchons rapidement du moment où ces ressources en combustibles seront épuisées. Nous commençons déjà à ressentir les effets de la disponibilité décroissante des combustibles fossiles.

- 1. Des méthodes de production dangereuses**
L'une des implications de la disponibilité décroissante des combustibles fossiles est que les méthodes de production deviennent de plus en plus dangereuses. Les réserves de charbon, de pétrole et de gaz naturel ne sont plus aussi accessibles qu'elles ne l'étaient. Les filons les plus accessibles sont épuisés depuis longtemps et les mineurs doivent forer encore plus profondément pour atteindre les réserves. Faire creuser des galeries plus profondes et plus vastes signifie exposer les mineurs à un danger plus grand. Pour des raisons similaires, les forages de pétrole et de gaz sont devenus de plus en plus dangereux.
- 2. Des coûts de plus en plus élevés**
Les coûts de l'énergie basée sur les combustibles fossiles et le nucléaire sont en augmentation. Dans ce marché concurrentiel, la disponibilité décroissante du charbon, du pétrole et du gaz naturel met les vendeurs en position de force de plus. L'accessibilité de moins en moins évidente des combustibles fossiles rend la production d'énergie plus coûteuse. Ceci résulte à la fois du coût élevé pour accéder à des endroits reculés pour le forage et l'extraction, et de la nécessité d'utiliser des technologies plus perfectionnées.

B. Les dégâts causés à l'environnement

L'utilisation massive des combustibles fossiles et du nucléaire menace notre environnement de nombreuses façons. Nous commençons juste à comprendre l'étendue des problèmes environnementaux que nous avons générés. Ceux-ci sont multiples et probablement irréversibles pour la plupart.

Pattern oculaire après correction

Echier

PROBLEMES D'ENERGIE ET SOLUTIONS

Depuis la révolution industrielle, les pays industrialisés sont devenus de plus en plus dépendants de la production d'énergie pour maintenir leur économie et leur niveau de vie. Les sources primaires d'énergie sont le pétrole, le charbon, le gaz naturel, et depuis peu le nucléaire. Nous sommes à présent confrontés à des problèmes graves créés par notre dépendance au pétrole, au charbon, au gaz naturel et au nucléaire.

I. PROBLEMES D'ENERGIE

Les combustibles fossiles que sont le charbon, le pétrole et le gaz partagent plusieurs caractéristiques importantes qui ont contribué à les établir comme sources privilégiées d'énergie. Il s'agit de ressources naturelles relativement abondantes. Elles sont transportables. La technologie de conversion est largement accessible et relativement peu coûteuse. Depuis le début de son développement dans les années cinquante, le nucléaire est devenu une source importante d'énergie, pour les mêmes raisons qui font que les combustibles fossiles tiennent une place importante. Ces dernières années, cependant, nous avons été témoins de certaines des limitations des combustibles fossiles et du nucléaire.

A. Des ressources de combustibles en diminution

Le charbon, le pétrole, le gaz et les minerais radioactifs sont des ressources naturelles abondantes. Cependant, elles ne sont pas inépuisables et les réserves sont donc limitées. Puisqu'il y a une demande en énergie croissante dans le monde entier, nous approchons rapidement du moment où ces ressources en combustibles seront épuisées. Nous commençons déjà à ressentir les effets de la disponibilité décroissante des combustibles fossiles.

- 1. Des méthodes de production dangereuses**
L'une des implications de la disponibilité décroissante des combustibles fossiles est que les méthodes de production deviennent de plus en plus dangereuses. Les réserves de charbon, de pétrole et de gaz naturel ne sont plus aussi accessibles qu'elles ne l'étaient. Les filons les plus accessibles sont épuisés depuis longtemps et les mineurs doivent forer encore plus profondément pour atteindre les réserves. Faire creuser des galeries plus profondes et plus vastes signifie exposer les mineurs à un danger plus grand. Pour des raisons similaires, les forages de pétrole et de gaz sont devenus de plus en plus dangereux.
- 2. Des coûts de plus en plus élevés**
Les coûts de l'énergie basée sur les combustibles fossiles et le nucléaire sont en augmentation. Dans ce marché concurrentiel, la disponibilité décroissante du charbon, du pétrole et du gaz naturel met les vendeurs en position de force de plus. L'accessibilité de moins en moins évidente des combustibles fossiles rend la production d'énergie plus coûteuse. Ceci résulte à la fois du coût élevé pour accéder à des endroits reculés pour le forage et l'extraction, et de la nécessité d'utiliser des technologies plus perfectionnées.

B. Les dégâts causés à l'environnement

L'utilisation massive des combustibles fossiles et du nucléaire menace notre environnement de nombreuses façons. Nous commençons juste à comprendre l'étendue des problèmes environnementaux que nous avons générés. Ceux-ci sont multiples et probablement irréversibles pour la plupart.

Figure 8 : Illustration du logiciel de contrôle de la précision spatiale des données oculaires

De manière moins anecdotique, l'analyse de la variable temps de fixation de second-passage sur les titres révèle un effet du facteur fenêtre, $F(1,57) = 7.99$, $MSE = 179\,780\,612$, $p < .01$, $\eta_p^2 = .13$, tout comme l'analyse de la variable nombre de fixations de second-passage, $F(1,57) = 4.54$, $MSE = 3\,779$, $p < .05$, $\eta_p^2 = .08$. Comme on peut le voir dans le Tableau 1, les titres sont lus avec moins de temps de fixation de second-passage et moins de fixations de second-passage dans la condition fenêtre ($M = 3\,486$ et $M = 14$, respectivement) que dans la condition fenêtre ($M = 7\,070$ et $M = 30$, respectivement).

L'analyse du temps total et du nombre total de fixations sur les titres ne révèle aucun effet significatif ($F < 2.9$, $p > .1$).

2.1.4. Discussion

Le but de la présente expérience était de réexaminer les limites verticales de l'empan perceptif en lecture avec un texte expositif signalé. Notre hypothèse était que l'empan perceptif peut s'étendre au-delà de la ligne fixée. Conformément au principe de base qui sous-tend l'utilisation de la technique de la fenêtre mobile, si l'empan perceptif ne s'étendait pas au-delà de la ligne fixée, aucune différence n'aurait dû apparaître entre la condition normale et la condition fenêtre. Or, quelques différences sont apparues.

Conformément à nos prédictions, la fenêtre a perturbé les comportements de relecture des titres. Les résultats ont montré des temps de relecture (temps de second-passage) des titres moins importants en présence de la fenêtre. Deuxièmement, le rappel du texte a été moins bon dans la condition fenêtre. Les lecteurs ont rappelé moins de thèmes du texte. Mais contrairement à nos prédictions, les résultats n'ont pas montré de différence au niveau des temps de lecture (temps de premier-passage) des titres et au niveau du temps total de lecture du texte.

La perturbation des comportements de relecture des titres suggère que les lecteurs perçoivent les titres au-delà de la région couverte par la fenêtre, en vision extrafovéale, et utilisent cette information pour guider les saccades régressives vers les titres. En d'autres mots, contrairement aux conclusions de l'étude de Pollatsek et al. (1993), de l'information utile serait extraite au-delà de la ligne fixée. Cette information serait précisément la position spatiale des titres sur la page. Elle permettrait aux lecteurs de déplacer aisément leur regard vers les titres déjà lu, dans le but de les relire. En référence aux travaux de Hyönä et al. (2002 ; Hyönä & Nurminen, 2006), ces relectures seraient, à leur tour, très utiles aux

processus de compréhension du texte, car elles favoriseraient un bon rappel du texte. Le deuxième résultat observé, le rappel du texte plus pauvre dans la condition fenêtre, pourrait s'expliquer en référence à ces travaux. La perturbation du rappel dans la condition fenêtre pourrait être une conséquence de la perturbation des processus de compréhension associés aux relectures dans cette condition.

Ces premiers résultats suggèrent que l'empan perceptif peut s'étendre au-delà de la ligne de texte fixée. Cependant, certaines de nos prédictions n'ont pas été confirmées. Nous avions prédit que l'identification des relations entre les thèmes du texte serait plus difficile dans la condition fenêtre, et que cela aurait pour conséquence soit une augmentation générale des temps de lecture, soit une augmentation des temps de lecture (et non de relecture) des titres. Cependant, aucune de ces différences n'est apparue. En conséquence, ces résultats ne permettent pas d'affirmer que dans la condition normale, les lecteurs percevaient en vision extrafovéale les signaux visuels mettant en valeur le niveau hiérarchique respectif des sections et sous-sections (contraste typographique entre les différents niveaux de titre, retrait des paragraphes).

Deux éléments clés du design de l'expérience pourraient être responsables de cette absence de résultat. Premièrement, la consigne de lecture pourrait être mise en cause. Cette consigne demandait aux participants de lire attentivement le texte pour le 'comprendre' et pour pouvoir 'répondre à des questions' après la lecture. Cette consigne, assez vague, a pu être interprétée de manière assez variable d'un lecteur à l'autre. Après l'expérience, les participants ont souvent exprimé leur difficulté dans la réalisation de la tâche de rappel. Beaucoup ont rapporté être très surpris par cette tâche. La plupart ont rapporté s'attendre à une tâche beaucoup plus simple de type questionnaire à choix multiples. En résumé, ceci a pu générer, à la fois, une faible motivation pour beaucoup de sujets et une variabilité importante des stratégies de lecture. Deuxièmement, les deux groupes expérimentaux affectés aux conditions fenêtre et normale étaient des groupes indépendants. Cette caractéristique du design expérimental a pu aussi être source de variabilité supplémentaire.

L'expérience suivante tente de remédier à ces limites en adoptant un niveau de contrôle plus important et en développant une nouvelle méthode pour mesurer l'exactitude, chez les lecteurs, de la représentation des relations hiérarchiques entre les thèmes. Elle est aussi conçue pour aborder de nouvelles questions.

2.2. EXPERIENCE 2 : LIMITES VERTICALES SUPERIEURES ET INFERIEURES DE L'EMPAN PERCEPTIF EN LECTURE AVEC UN TEXTE SIGNALE

2.2.1. Introduction

L'objectif de la précédente expérience est de réexaminer, à la suite de l'étude de Pollatsek et al. (1993), les limites verticales de l'empan perceptif en lecture avec un texte expositif contenant des signaux visuels. Globalement, les résultats de cette expérience suggèrent que l'empan perceptif peut s'étendre au-delà de la ligne fixée. Il semble notamment que les lecteurs perçoivent les titres au-delà de la ligne fixée, en vision extrafovéale, et utilisent cette information pour guider les saccades régressives vers les titres. Le résultat qui soutient cette hypothèse est la diminution des temps de relecture des titres dans la condition fenêtre par rapport à la condition normale. Mais toutes nos prédictions n'ont pas été confirmées. Nous avons fait l'hypothèse que les lecteurs percevaient aussi en vision extrafovéale les signaux visuels mettant en valeur le niveau hiérarchique respectif des sections et sous-sections (e.g. contraste visuel entre les différents niveaux de titre). Aucun résultat n'a permis de confirmer cette hypothèse, mais certaines limites de l'expérience, relatives à la consigne de lecture et au design expérimental (facteur fenêtre manipulée avec des groupes indépendants), pourraient être responsables de cette absence de résultat.

L'objectif de la présente expérience est de répliquer l'expérience précédente en remédiant à ses limites, et en abordant de nouvelles questions.

Les conditions de l'expérience précédente ont été reproduites à l'identique (condition 'Disparition en dessous et au-dessus' ; cf. Figure 9) et des conditions supplémentaires ont été rajoutées ('Disparition en dessous' et 'Disparition au-dessus'). Ainsi, nous nous attendions à répliquer les premiers résultats obtenus précédemment, à savoir, la diminution des temps de relecture des titres dans la condition fenêtre par rapport à la condition normale.

Nous avons tenté de dépasser les limites de l'expérience précédente de la manière suivante. Le facteur fenêtre a été manipulé comme une variable intra-sujet ; les participants lisaient un texte dans la condition fenêtre et un autre texte dans la condition normale. De plus, la consigne de lecture informait les participants qu'ils auraient à rappeler les textes à l'issue de la lecture. Nous espérons ainsi disposer d'un degré de contrôle plus important que dans l'expérience précédente pour pouvoir observer les résultats attendus qui ont fait défaut jusqu'ici. Plus précisément, nous avons fait l'hypothèse que les lecteurs pouvaient percevoir

en vision extrafovéale les signaux visuels mettant en valeur le niveau hiérarchique respectif des sections et sous-sections (e.g. contraste visuel entre les différents niveaux de titre). Cette perception étant affectée dans la condition fenêtre, l'identification des relations hiérarchiques entre les thèmes devrait être plus difficile dans cette condition. Ces difficultés de compréhension devraient se traduire par un ralentissement du rythme général de lecture et/ou un accroissement des temps de lecture (et non de relecture) des titres (cf. expérience précédente). De plus, ces difficultés devraient aboutir à une représentation plus pauvre des relations hiérarchiques entre les thèmes du texte.

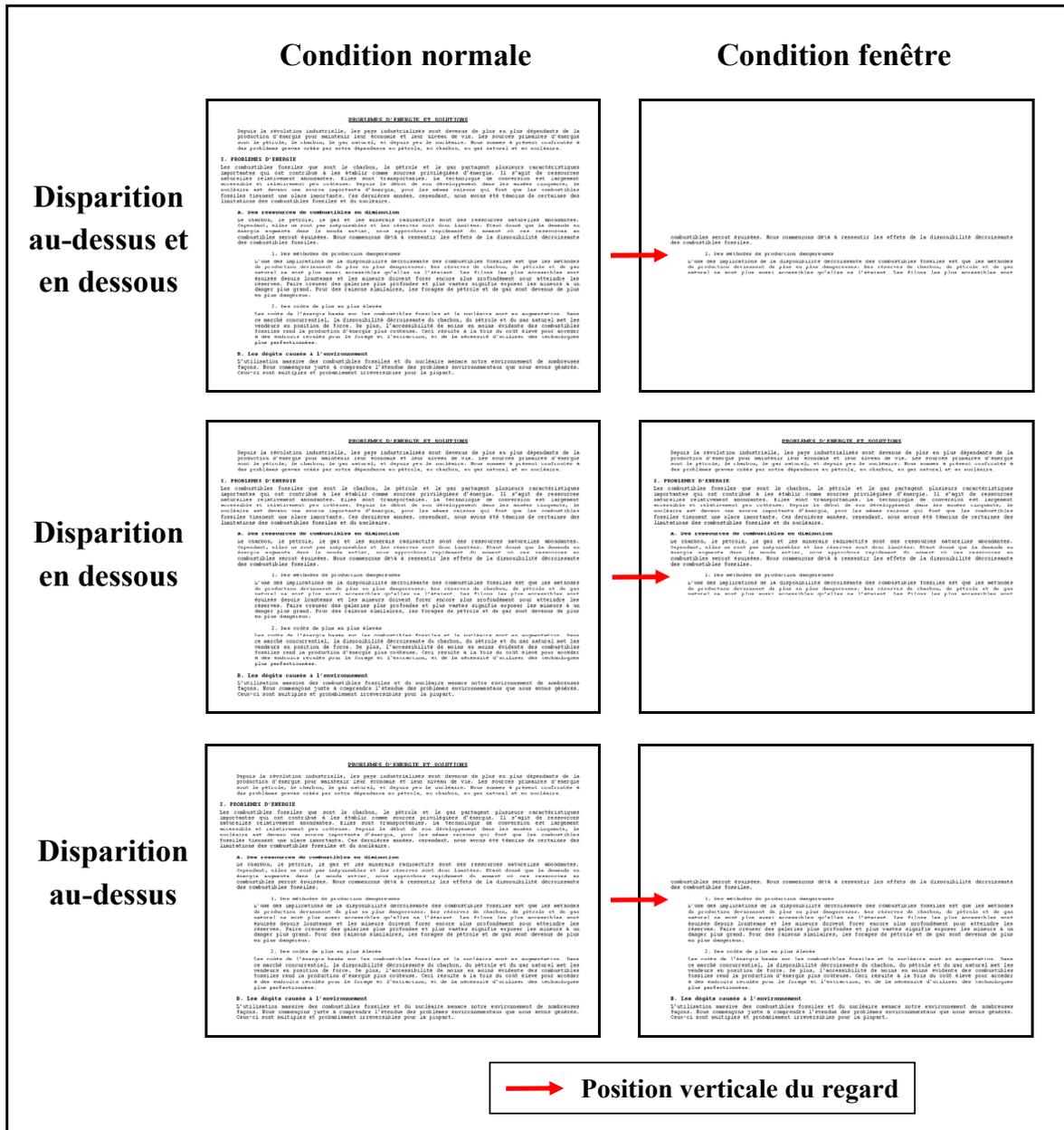


Figure 9 : Illustration du dispositif de fenêtre mobile selon les trois conditions d'affichage

Une nouvelle tâche a été rajoutée pour tenter de mesurer l'exactitude, chez les lecteurs, de la représentation des relations hiérarchiques entre les thèmes (cf. Figure 10). Nous avons vu que l'indicateur utilisé antérieurement par Lorch et al. (1993) pour appréhender la représentation, chez les lecteurs, de ces relations était insatisfaisant. Cet indicateur, le rappel 'corrélational', mesure la correspondance entre l'ordre d'apparition des thèmes dans le texte et l'ordre d'apparition des thèmes dans les protocoles de rappel des lecteurs (Lorch et al., 1993). Or, l'ordre d'apparition des thèmes dans le texte et leurs relations hiérarchiques sont des éléments relativement indépendants. Au contraire, la nouvelle tâche proposée n'était pas fondée sur l'ordre d'apparition des thèmes dans le texte. Elle se présentait de la manière suivante. Après la lecture, le participant avait sous les yeux, d'une part, un graphe représentant la structure hiérarchique du texte, et d'autre part, des cartes représentant chacune un thème (cf. Figure 10). Le participant devait compléter le graphe avec les cartes, tout en essayant de respecter la structure hiérarchique du texte. Si les lecteurs ont effectivement une représentation plus pauvre des relations hiérarchiques entre les thèmes du texte dans la condition fenêtre, cela devrait être manifeste dans les performances observées à cette nouvelle tâche.

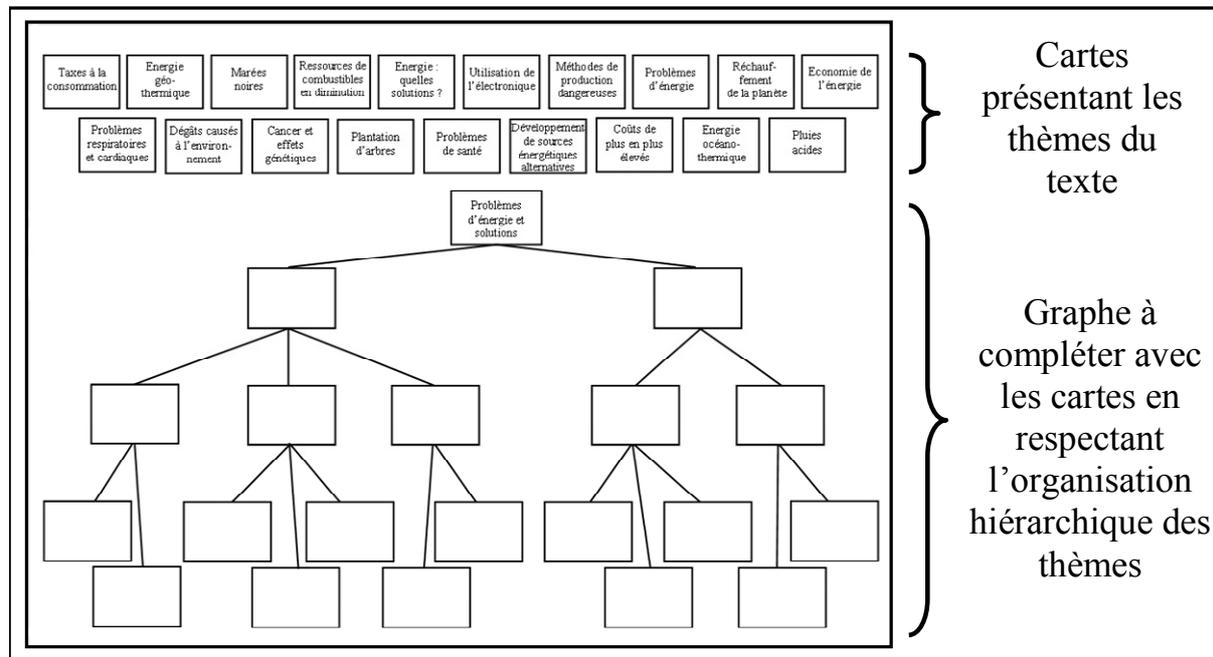


Figure 10 : Illustration de la tâche de rappel de l'organisation hiérarchique des thèmes

Cette expérience est aussi conçue pour traiter deux questions supplémentaires par rapport à l'expérience précédente. Premièrement, les études précédentes menées sur les

limites horizontales de l'empan perceptif en lecture ont montré que l'empan perceptif était asymétrique (McConkie & Rayner, 1976 ; Pollatsek et al., 1981). Il s'étend davantage à droite du point de fixation qu'à gauche. L'empan pourrait-il aussi être verticalement asymétrique ? En d'autres mots, pourrait-il s'étendre d'avantage au-dessus ou en dessous de la ligne fixée ? Pour examiner cette question, deux conditions de fenêtre mobile supplémentaires ont été rajoutées par rapport à l'expérience précédente. Comme le montre la Figure 9, la condition 'Disparition au-dessus et en dessous' était identique à l'expérience précédente. Dans cette condition, la fenêtre mobile était centrée sur le point de fixation et couvrait 3° d'angle visuel. Les deux conditions supplémentaires étaient les conditions 'Disparition en dessous' et 'Disparition au-dessus'. La condition 'Disparition en dessous' était identique à la condition 'Disparition au-dessus et en dessous' à ceci près que la fenêtre mobile n'avait pas de limite supérieure. La condition 'Disparition au-dessus' était identique à la condition 'Disparition au-dessus et en dessous' sauf que la fenêtre mobile n'avait pas de limite inférieure (cf. Figure 9). Si l'empan perceptif s'étend davantage en dessous de la ligne fixée qu'au-dessus, l'activité de lecture devrait être davantage perturbée dans la condition 'Disparition en dessous' que dans la condition 'Disparition au-dessus'. A l'inverse, si l'empan perceptif s'étend davantage au-dessus de la ligne fixée, l'activité de lecture devrait être davantage perturbée dans la condition 'Disparition au-dessus' que dans la condition 'Disparition en dessous'.

La deuxième question subsidiaire traitée dans cette expérience est la suivante. Nous avons vu que les relectures facilitent les traitements de haut niveau du texte car plus les lecteurs reviennent sur des passages de texte déjà lus, et plus ils sont en mesure de rappeler le contenu du texte. Ceci a été mis en évidence notamment par une corrélation positive entre les temps de relecture et les performances de rappel (Hyönä & Nurminen, 2006). Y a-t-il d'autres aspects du comportement de lecture, d'autres indicateurs oculaires, qui pourraient être associés à un bon rappel du texte ? La littérature ne permettant pas de poser d'hypothèse particulière, cette question sera traitée en examinant les coefficients de corrélations entre les différents indicateurs oculaires et les mesures de rappel utilisés dans l'expérience.

2.2.2. Méthode

Participants

Quatre-vingt-sept étudiants de l'université de Toulouse le Mirail ont participé à cette étude en échange de tickets de cinéma. Ils avaient tous entre 18 et 29 ans. Soixante-quatre

participants étaient de sexe féminin. Le français était leur langue maternelle, ils n'avaient pas de problème de vue et ils étaient naïfs au regard des objectifs de l'expérience. Aucun d'entre eux n'avait participé à l'expérience précédente.

Dispositif

Le dispositif technique était identique en tout point à celui de l'expérience précédente (cf. expérience 1) mise à part deux conditions de fenêtre mobile supplémentaires : les conditions 'Disparition en dessous' et 'Disparition au-dessus'. Comme le montre la Figure 9, la condition 'Disparition en dessous' était identique à la condition 'Disparition au-dessus et en dessous' à ceci près que la fenêtre mobile n'avait pas de limite supérieure. La condition 'Disparition au-dessus' était identique à la condition 'Disparition au-dessus et en dessous' sauf que la fenêtre mobile n'avait pas de limite inférieure.

Matériel

Les deux textes expérimentaux de l'expérience précédente, à savoir le texte traitant de questions énergétiques et le texte présentant les sapeurs-pompiers, ont été réutilisés sans modification (cf. Expérience 1).

Un nouveau texte d'entraînement (cf. Annexe 5) a été utilisé comparativement à l'expérience précédente (ce texte était plus approprié à la tâche de rappel de l'organisation hiérarchique ; cf. plus bas). Celui-ci décrivait successivement différentes espèces animales en voie de disparition. Il a été adapté à partir d'un texte utilisé dans une précédente étude de Hyönä et Lorch (2004). Ce texte présentait 7 thèmes (7 espèces) organisés en deux grandes parties. La première partie regroupait des oiseaux menacés (les perroquets, les aigles pêcheurs, les manchots) et la deuxième partie regroupait des mammifères menacés (les pandas, les baleines, les chauves-souris, les chats tachetés).

Pour les deux textes expérimentaux et pour le texte d'entraînement, le matériel nécessaire à la réalisation d'une tâche de rappel de l'organisation hiérarchique des thèmes a été construit. Ce matériel se présentait comme un plateau au format A3 sur lequel se trouvaient, d'une part, des cartes cartonnées présentant chacune un thème et, d'autre part, un graphe représentant la structure hiérarchique du texte, à compléter avec les cartes (cf. Figure 10). Pour chaque texte, les cartes étaient initialement disposées dans un ordre fixe. Cet ordre a été déterminé au hasard en veillant, d'une part, à ce qu'il ne corrèle pas avec l'ordre

d'apparition des thèmes dans le texte, et d'autre part, à ce qu'il n'y ait pas de biais relatif au niveau hiérarchique des thèmes (tous les thèmes de plus haut niveau hiérarchique au début par exemple). La durée impartie à la réalisation de la tâche pour chaque texte était de deux minutes. Cette durée a été fixée sur la base de pré-tests lors desquels nous avons observé que les participants mettaient en moyenne entre deux et trois minutes pour réaliser la tâche sans contrainte de temps.

Procédure

L'expérience débutait par une phase de calibrage de l'oculomètre pour chaque participant. Pendant la phase de calibrage, le participant devait regarder successivement neuf points couvrant l'écran. L'exactitude du calibrage était ensuite contrôlée avec le même écran contenant les neuf points et le calibrage était corrigé si nécessaire.

Le participant était affecté au hasard à une des trois conditions d'affichage de la fenêtre (disparition au-dessus et en dessous, disparition au-dessus, ou disparition en dessous). S'enchaînaient ensuite, dans l'ordre, la lecture du texte d'entraînement, la lecture des deux textes expérimentaux, le rappel des thèmes du premier texte expérimental lu, du second, puis pour finir, le rappel de l'organisation hiérarchique des thèmes du texte d'entraînement, du premier texte expérimental et du second texte expérimental. Comme dans l'expérience précédente, les participants tournaient les pages des textes en appuyant sur le bouton droit de la souris. Avant qu'une nouvelle page de texte soit affichée, une page blanche comprenant une croix placée en haut à gauche de la page-écran apparaissait. Dès que le regard du participant se trouvait sur cette croix, la page de texte suivante s'affichait automatiquement.

La lecture du texte d'entraînement s'effectuait avec la fenêtre mobile, dans la condition d'affichage de la fenêtre attribuée au participant (disparition au-dessus et/ou en dessous). Avant la lecture du texte d'entraînement, le fonctionnement général de la fenêtre mobile était brièvement présenté aux participants. Ils étaient informés que la lecture de ce premier texte avait pour but de les familiariser avec le dispositif de fenêtre mobile et qu'ils n'auraient pas à rappeler ce texte. Ils avaient comme consigne de lire en explorant le fonctionnement de la fenêtre sans essayer de mémoriser le texte.

Ensuite, un des deux textes expérimentaux était lu dans la condition normale et l'autre était lu dans la condition fenêtre. Les participants étaient informés qu'ils auraient à rappeler les textes à l'issue de la lecture. Ils avaient pour consigne de lire les textes en essayant de

‘mémoriser les idées importantes et leurs relations’ afin d’être capable de ‘les résumer brièvement’ après la lecture.¹³ L’expérimentateur faisait également mention de la tâche de rappel de l’organisation hiérarchique sans la présenter réellement. Le participant était juste informé oralement que l’expérience se terminerait par ‘une courte tâche de 2 × 2 minutes’ dans laquelle il aurait à ‘manipuler des cartes’ (cf. plus bas).

Après la lecture des textes expérimentaux, la consigne de rappel était répétée et précisée. L’expérimentateur expliquait au participant qu’il devait rappeler brièvement sous forme de liste l’idée importante de chaque paragraphe dont il se souvenait. Il était encouragé à rappeler le titre exact du paragraphe dans la mesure du possible. Aucune limite de temps n’était imposée.

Après le rappel des thèmes des textes expérimentaux, la tâche de rappel de l’organisation hiérarchique des thèmes était expliquée au participant. L’expérimentateur présentait à nouveau le texte d’entraînement au participant et expliquait le principe d’organisation hiérarchique des thèmes d’un texte en s’appuyant sur ce texte. Le participant était alors invité à réaliser la tâche de rappel de l’organisation hiérarchique des thèmes avec le matériel correspondant au texte d’entraînement. Puis le participant réalisait successivement cette tâche pour les deux textes expérimentaux (avec une limite de temps de deux minutes à chaque fois).

Le plan d’expérience était un plan mixte à deux facteurs. Le facteur inter-sujet était le facteur condition d’affichage de la fenêtre (disparition au-dessus et en dessous, disparition au-dessus, ou disparition en dessous) et le facteur intra-sujets était le facteur fenêtre (conditions normale vs. fenêtre). L’ordre de présentation des textes sur l’énergie et sur les sapeurs-pompiers, et l’ordre d’apparition de la fenêtre (premier texte vs. deuxième texte) étaient contrebalancés. L’expérience durait en moyenne une heure et quart en tout.

2.2.3. Résultats

Comme pour l’expérience précédente, des mesures de rappel et des mesures oculaires globales et locales ont été examinées. Les mesures oculaires globales comprennent le temps total de fixation, le nombre total de fixations, le temps passé en régression, le nombre de

¹³ La consigne de lecture exacte était la suivante : ‘Vous allez lire deux textes et, par la suite, vous allez lister les idées importantes de chaque texte en les résumant brièvement. Donc essayez de mémoriser les idées importantes et leurs relations.’

fixations régressives, le pourcentage de régressions, la durée moyenne de fixation, et la longueur saccadique (Rayner, 1998 ; Wiley & Rayner, 2000). Les mesures oculaires locales concernent les aires d'intérêt cibles de l'étude à savoir les titres des textes. Les mesures locales comprennent le temps de fixation de premier-passage, le nombre de fixations de premier passage, le temps de fixation de second-passage et le nombre de fixations de second-passage (Rayner, 1998).¹⁴

En plus de ces mesures standard, deux nouvelles mesures ont été créées : le temps de fixation d'anticipation sur les titres et le nombre de fixations d'anticipation sur les titres. Ces mesures ont été créées pour examiner si les participants respectaient toujours l'ordre linéaire du texte ou au contraire sautaient parfois de larges parties du texte pour lire de manière anticipée les titres. Une fixation a été catégorisée comme une fixation d'anticipation sur un titre si au moment de cette fixation, les phrases du paragraphe précédent n'avaient jamais été fixées.

Toutes les variables dépendantes ont été analysées, dans un premier temps, avec une analyse de variance 3 (affichage : conditions disparition au-dessus et/ou en dessous) \times 2 (fenêtre : conditions normal vs. fenêtre). Puis, des analyses ont été systématiquement menées pour les trois conditions d'affichage, de manière séparée. Enfin, des analyses de corrélation entre les mesures de rappel et les mesures oculaires ont été réalisées (Test de Spearman). Les données correspondant aux mesures de rappel sont présentées dans le Tableau 2 et les données correspondant aux mesures oculaires sont présentées dans le Tableau 3. Le Tableau 4 reporte les données correspondant aux corrélations entre les mesures de rappel et les mesures oculaires.

Rappel des thèmes

Le nombre de thèmes rappelés parmi les 19 thèmes et sous-thèmes des textes a été déterminé en analysant les protocoles de rappel des deux textes expérimentaux. Un thème était considéré comme rappelé si le participant y faisait explicitement référence de manière littérale ou paraphrasée dans son protocole de rappel. Les moyennes de cette mesure sont présentées dans le Tableau 2. Pour contrôler la fiabilité de la méthode, deux juges ont traité un sous-ensemble de 30 protocoles expérimentaux (15 participants). L'accord entre les deux

¹⁴ Toutes ces mesures sont couramment utilisées dans la littérature. Le pourcentage de régression est égal au nombre de fixations régressives divisé par le nombre total de fixations (Rayner, 1998). Le temps passé en régression est égal à la somme des durées de toutes les fixations régressives (Wiley & Rayner, 2000).

juges sur les thèmes spécifiques rappelés dans ces protocoles était bon – $\kappa = .90$.

L'analyse de variance 3 (affichage : conditions disparition au-dessus et/ou en dessous) \times 2 (fenêtre : conditions normal vs. fenêtre) réalisée sur cette mesure révèle un effet du facteur affichage, $F(2, 84) = 3.43$, $MSE = .165$, $p < .05$, $\eta_p^2 = .08$. Le test post hoc de Scheffe indique qu'indépendamment des conditions normale et fenêtre, les participants rappellent plus de thèmes dans la condition disparition au-dessus ($M = .53$) que dans la condition disparition au-dessus et en dessous ($M = .43$), $p < .05$. Par contre, il n'y a pas de différence significative entre la condition disparition en dessous ($M = .47$) et les deux autres conditions.

Les analyses de variance séparées révèlent un seul effet marginalement significatif du facteur fenêtre. Dans la condition disparition au-dessus, les participants ont tendance à rappeler plus de thèmes lorsque la fenêtre est absente ($M = .57$) que lorsqu'elle est présente ($M = .49$), $F(1, 28) = 4.18$, $MSE = .088$, $p < .06$, $\eta_p^2 = .13$.

Tableau 2 : Résultats concernant le rappel selon les facteurs fenêtre et condition d'affichage

		Condition normale		Condition Fenêtre		Diff.
		<i>M</i>	<i>ES</i>	<i>M</i>	<i>ES</i>	
Nombre de thèmes rappelés (%)	Dis. &	.43	.03	.43	.03	0
	Dis. en d.	.47	.03	.47	.03	0
	Dis. au-d.	.57	.04	.49	.03	-.08(*)
Score à la tâche de rappel de l'organisation hiérarchique (%)	Dis. &	.47	.05	.36	.05	-.11*
	Dis. en d.	.52	.05	.41	.06	-.11
	Dis. au-d.	.49	.06	.49	.06	0

Note. Dis. &, disparition au-dessus et en dessous ; Dis. en d., disparition en dessous ; Dis. au-d., disparition au-dessus. $n = 29$ dans chaque condition. * $p < .05$. (*) $p < .06$.

Rappel de l'organisation hiérarchique

La tâche de rappel de l'organisation hiérarchique a été construite dans le but d'évaluer l'exactitude de la représentation des *relations* liant les différents thèmes entre eux, indépendamment du nombre de thèmes rappelés (cf. Figure 11).

Le score à cette tâche a été déterminé de la manière suivante. Pour chaque texte expérimental, une matrice de notation a été constituée. Elle se présentait comme un tableau à double entrée avec les thèmes du texte à la fois en ligne et en colonne (cf. Figure 12).

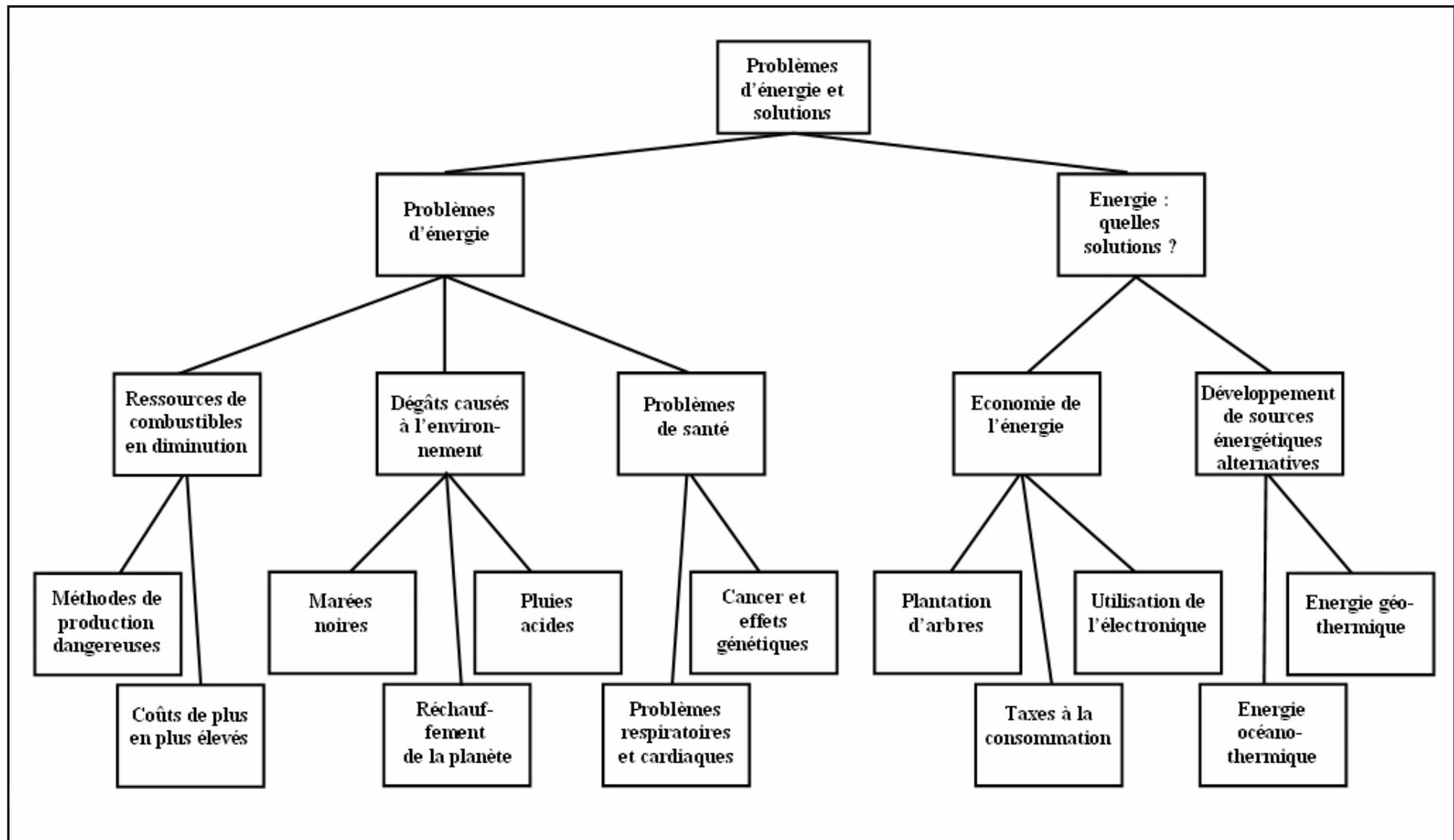


Figure 11 : Organisation hiérarchique des thèmes d'un des deux textes expérimentaux

Les textes comptaient 19 thèmes, ce qui faisait 171 paires de thèmes possibles, soit 171 relations entre deux thèmes (l'équation mathématique étant $19! / [2! \times (19 - 2)!]$). En conséquence, la matrice contenait 171 cases vierges correspondant chacune à une relation entre deux thèmes. Suivant que la relation hiérarchique entre deux thèmes était correctement rappelée ou non par le participant, un 1 ou un 0 était inscrit dans la case correspondante. Si une ou plusieurs cartes (c'est-à-dire un ou plusieurs thèmes) n'étaient placées nulle part dans le graphe par le participant, toutes les cases correspondant à ces thèmes restaient vierges (équivalent à un 0 ici). Le score final était égal au nombre de cases comprenant le chiffre 1 divisé par le nombre de cases totales (171). En d'autres mots, le score final correspondait au nombre de relations hiérarchiques correctement rappelées parmi toutes les relations hiérarchiques entretenues entre les thèmes.¹⁵

	Prb d'énergie	Solutions	Diminution des ressources	Dégâts environnement	Prb de santé	Econ. de l'énergie	Sources alternatives	Méthodes prod dangereuses	Coûts élevés	Marées noires	Réchauffement climatique	Pluies acides	Prb respiratoires et cardiaques	Cancer et effets génétiques	Plantation d'arbres	Taxes	L'électronique	Océano-thermie	Géo-thermie
Problèmes d'énergie	1																		
Solutions		1																	
Diminution des ressources			1																
Dégâts environnement				1															
Problèmes de santé					1														
Economie de l'énergie						1													
Sources alternatives							1												
Méthodes prod dangereuses								1											
Coûts élevés									1										
Marées noires										1									
Réchauffement climatique											1								
Pluies acides												1							
Prb respiratoires et cardiaques													1						
Cancer et effets génétiques														1					
Plantation d'arbres															1				
Taxes																1			
L'électronique																	1		
Océano-thermie																		1	
Géo-thermie																			1

Figure 12 : Matrice utilisée pour déterminer le score à la tâche de rappel de l'organisation hiérarchique des thèmes d'un des deux textes expérimentaux

¹⁵ Cette procédure de notation s'inspire de procédures utilisées antérieurement dans différentes études (DeJong & Ferguson-Hessler, 1986 ; Farris, Jones & Elgin, 2002 ; McNamara, Kintsch, Songer, & Kintsch, 1996 ; Otter & Johnson, 2000 ; Roenker, Thompson, & Brown, 1971 ; Ruiz-Primo, Schultz, Li, & Shavelson, 2001).

Pour déterminer si la relation hiérarchique entretenue entre deux thèmes était correcte ou non dans le graphe du participant, la méthode suivante a été utilisée. A chaque relation correspondait un couple de chiffres (x, y) représentant la distance ascendante et descendante entre les deux thèmes dans le graphe hiérarchique original. Par exemple, pour rejoindre le thème 'Economie de l'énergie' à partir du thème 'Marées noires' dans le graphe original, il faut opérer 3 mouvements ascendants dans la hiérarchie et 2 mouvements descendants (cf. Figure 11). Donc, à partir du thème 'Marées noires', la relation qui lie ces deux thèmes est (3, 2). Mais, à partir du même thème 'Marées noires', la relation qui lie 'Marées noires' et 'Pluies acides' est (1, 1). Une relation hiérarchique était considérée comme correcte dans le graphe du participant si le couple (x, y) conceptualisant la relation était correct, et ce, quelque soit la place des deux thèmes dans le graphe par rapport aux autres thèmes et par rapport au graphe dans son ensemble (cf. Annexe 6 pour un exemple réel de notation).

L'analyse de variance 3 (affichage : conditions disparition au-dessus et/ou en dessous) \times 2 (fenêtre : conditions normal vs. fenêtre) réalisée sur cette mesure (i.e. le score à la tâche de rappel de l'organisation hiérarchique) ne révèle aucun effet significatif.

Les analyses de variance séparées révèlent un effet significatif du facteur fenêtre pour la condition d'affichage Disparition au-dessus et en dessous, $F(1, 28) = 4.30$, $MSE = .174$, $p < .05$, $\eta_p^2 = .13$. Dans la condition Disparition en dessous, l'effet du facteur fenêtre ne fait qu'approcher le seuil de signification, $F(1, 28) = 3.10$, $MSE = .173$, $p < .1$, $\eta_p^2 = .10$.

Temps total de fixation

L'analyse de variance globale révèle un effet significatif du facteur fenêtre. Indépendamment des conditions d'affichage de la fenêtre, on observe un temps total de fixation plus important dans la condition fenêtre ($M = 449\ 918$) que dans la condition normale ($M = 430\ 428$), $F(1, 84) = 6.48$, $MSE = 16\ 523\ 719\ 451$, $p < .05$, $\eta_p^2 = .07$.

Les analyses de variance séparées montrent un effet significatif du facteur fenêtre uniquement pour la condition disparition au-dessus et en dessous, $F(1, 28) = 4.35$, $MSE = 17\ 638\ 118\ 510$, $p < .05$, $\eta_p^2 = .13$. Comme l'indique le Tableau 3, la condition normale donne lieu à un temps total de fixation moyen de 422 209 ms et la condition fenêtre 457 086 ms.

Tableau 3 : Résultats des mesures oculaires globales et locales selon les facteurs fenêtre et condition d'affichage

		Condition normale		Condition Fenêtre		Diff.
		<i>M</i>	<i>ES</i>	<i>M</i>	<i>ES</i>	
<i>Mesures oculaires globales</i>						
Temps total de fixation	Dis. &	422 209	17 842	457 086	23 699	34 877*
	Dis. en d.	442 777	13 244	449 177	15 499	6 400
	Dis. au-d.	426 299	14 286	443 492	20 819	17 193
Nombre total de fixations	Dis. &	1 270	43	1 331	61	61
	Dis. en d.	1 359	35	1 338	39	-21
	Dis. au-d.	1 369	36	1 385	52	16
Temps passé en régression	Dis. &	103 476	4 393	117 570	6 568	14 094**
	Dis. en d.	107 977	5 029	112 047	5 336	4 070
	Dis. au-d.	107 727	4 366	116 463	6 367	8 736*
Nombre de fixations régressives	Dis. &	312	12	333	18	21
	Dis. en d.	335	15	329	16	-6
	Dis. au-d.	354	16	364	18	10
Pourcentage de régressions (%)	Dis. &	.25	.01	.25	.01	0
	Dis. en d.	.24	.01	.24	.01	0
	Dis. au-d.	.26	.01	.26	.01	0
Durée moyenne de fixation	Dis. &	332	8	342	9	10**
	Dis. en d.	326	7	336	6	10**
	Dis. au-d.	312	8	319	8	7**
Longueur saccadique (°)	Dis. &	.95	.01	.93	.02	-.02**
	Dis. en d.	.93	.01	.93	.01	0
	Dis. au-d.	.95	.01	.93	.01	-.02**
<i>Mesures oculaires locales</i>						
Temps de fixation de premier-passage sur les titres	Dis. &	21 844	1 084	26 381	2 088	4 537*
	Dis. en d.	21 723	844	23 847	1 130	2 124
	Dis. au-d.	20 841	1 025	22 841	1 549	2 000
Nombre de fixations de premier-passage sur les titres	Dis. &	62	2	70	5	8
	Dis. en d.	65	2	67	2	2
	Dis. au-d.	61	2	64	3	3
Temps de fixation de second-passage sur les titres	Dis. &	19 661	3 026	15 338	2 703	-4 323*
	Dis. en d.	18 260	2 349	19 255	3 033	995
	Dis. au-d.	19 529	2 204	20 265	3 156	736
Nombre de fixations de second-passage sur les titres	Dis. &	61	8	44	7	-17**
	Dis. en d.	59	7	56	8	-3
	Dis. au-d.	65	7	61	8	-4
Temps de fixation d'anticipation sur les titres	Dis. &	523	233	159	142	-364**
	Dis. en d.	746	326	59	52	-687*
	Dis. au-d.	939	298	777	229	-162
Nombre de fixations d'anticipation sur les titres	Dis. &	2	.8	0.5	.4	-1.5**
	Dis. en d.	2	.9	0	.2	-2*
	Dis. au-d.	3	1	3	.7	0

Note. Dis. &, disparition au-dessus et en dessous ; Dis. en d., disparition en dessous ; Dis. au-d., disparition au-dessus. Tous les temps de fixation sont en ms. $n = 29$ dans chaque condition. ** $p < .01$. * $p < .05$.

Nombre total de fixations

Pour cette mesure, ni l'analyse de variance globale ni les analyses de variance conduites de manière séparée selon les différentes conditions d'affichage ne révèlent d'effet significatif.

Temps passé en régression

L'analyse globale montre un effet du facteur fenêtre, $F(1, 84) = 16.81$, $MSE = 3\,497\,448\,333$, $p < .01$, $\eta_p^2 = .17$. On observe un temps passé en régression plus important dans la condition fenêtre ($M = 115\,360$) que dans la condition normale ($M = 106\,393$).

Pour la condition disparition au-dessus et en dessous, le temps passé en régression est significativement plus important dans la condition fenêtre ($M = 117\,570$) que dans la condition normale ($M = 103\,476$), $F(1, 28) = 9.82$, $MSE = 2\,880\,489\,441$, $p < .01$, $\eta_p^2 = .26$. Pour la condition disparition au-dessus, le temps passé en régression est aussi significativement plus important dans la condition fenêtre ($M = 116\,463$) que dans la condition normale ($M = 107\,727$), $F(1, 28) = 5.16$, $MSE = 1\,106\,571\,648$, $p < .05$, $\eta_p^2 = .16$.

Nombre de fixations régressives

Ni l'analyse globale, ni les analyses séparées ne révèlent d'effet significatif.

Pourcentage de régression

Pour cette mesure, comme pour la mesure précédente, les analyses ne révèlent aucun effet significatif.

Durée moyenne de fixation

L'analyse globale montre que, indépendamment de la condition d'affichage de la fenêtre, on observe des durées moyennes de fixation significativement plus longues avec la fenêtre ($M = 342$) que sans ($M = 334$), $F(1, 84) = 33.10$, $MSE = 3\,712$, $p < .01$, $\eta_p^2 = .28$.

Les analyses séparées révèlent que la différence est significative dans la condition disparition au-dessus et en dessous ($M = 342$ vs. $M = 332$), $F(1, 28) = 12.19$, $MSE = 1\,628$, $p < .01$, $\eta_p^2 = .30$, dans la condition disparition en dessous ($M = 336$ vs. $M = 326$), $F(1, 28) =$

10.33, $MSE = 1\,344$, $p < .01$, $\eta_p^2 = .27$, et dans la condition disparition au-dessus ($M = 319$ vs. $M = 312$), $F(1, 28) = 11.17$, $MSE = 814$, $p < .01$, $\eta_p^2 = .29$.

Longueur saccadique

L'analyse de variance globale indique un effet du facteur fenêtre, $F(1, 84) = 22.73$, $MSE = .009$, $p < .01$, $\eta_p^2 = .21$. Les saccades sont en moyenne plus courtes dans la condition fenêtre ($M = .93$) que dans la condition normale ($M = .94$). L'analyse globale révèle aussi une interaction entre les facteurs fenêtre et condition d'affichage, $F(1, 28) = 12.19$, $MSE = 1\,628$, $p < .01$, $\eta_p^2 = .30$.

Les analyses séparées montrent que l'effet de la fenêtre est significatif pour la condition disparition au-dessus et en dessous ($M = .93$ vs $M = .95$), $F(1, 28) = 10.09$, $MSE = .004$, $p < .01$, $\eta_p^2 = .27$, et pour la condition disparition au-dessus ($M = .93$ vs $M = .95$), $F(1, 28) = 24.45$, $MSE = .009$, $p < .01$, $\eta_p^2 = .47$.

Temps de fixation de premier-passage sur les titres

Un effet du facteur fenêtre est révélé par l'analyse de variance globale, $F(1, 84) = 11.42$, $MSE = 362\,478\,733$, $p < .01$, $\eta_p^2 = .12$. Indépendamment des conditions d'affichage de la fenêtre, on observe un temps de fixation de premier-passage sur les titres plus long dans la condition fenêtre ($M = 24\,356$) que dans la condition normale ($M = 21\,469$).

Les analyses séparées indiquent que l'effet est significatif pour la condition disparition au-dessus et en dessous ($M = 26\,381$ vs $M = 21\,844$), $F(1, 28) = 6.02$, $MSE = 298\,414\,372$, $p < .05$, $\eta_p^2 = .18$.

Nombre de fixations de premier-passage sur les titres

L'analyse globale montre un effet marginalement significatif de la fenêtre, $F(1, 84) = 3.93$, $MSE = 914$, $p < .06$, $\eta_p^2 = .05$. On compte (marginalement) plus de fixations dans la condition fenêtre ($M = 67$) que dans la condition normale ($M = 63$).

Mais les analyses séparées ne révèlent aucun effet significatif. L'effet de la fenêtre approche seulement le seuil de signification dans la condition disparition au-dessus et en dessous ($M = 70$ vs $M = 62$), $F(1, 28) = 3.31$, $MSE = 1\,010$, $p < .1$, $\eta_p^2 = .11$.

Temps de fixation de second-passage sur les titres

Aucun effet significatif n'est révélé par l'analyse de variance globale pour cette mesure.

Les analyses séparées indiquent un effet du facteur fenêtre pour la condition disparition au-dessus et en dessous, $F(1, 28) = 5.17$, $MSE = 270\,950\,510$, $p < .05$, $\eta_p^2 = .16$. Dans cette condition, on observe un temps de fixation de second-passage plus court avec la fenêtre ($M = 15\,338$) que sans la fenêtre ($M = 19\,661$).

Nombre de fixations de second-passage sur les titres

L'analyse globale révèle un effet du facteur fenêtre, la présence de la fenêtre donnant lieu à moins de fixations de second-passage sur les titres ($M = 18\,286$ vs $M = 19\,150$), $F(1, 84) = 6.27$, $MSE = 2\,864$, $p < .05$, $\eta_p^2 = .07$.

Les analyses séparées indiquent que l'effet est significatif uniquement pour la condition disparition au-dessus et en dessous ($M = 44$ vs $M = 61$), $F(1, 28) = 8.49$, $MSE = 4\,310$, $p < .01$, $\eta_p^2 = .23$.

Temps de fixation d'anticipation sur les titres

L'analyse globale indique un effet du facteur fenêtre, la présence de la fenêtre donnant lieu à de plus courts temps de fixation d'anticipation sur les titres ($M = 332$ vs $M = 736$), $F(1, 84) = 7.89$, $MSE = 7\,112\,829$, $p < .01$, $\eta_p^2 = .09$.

Les analyses séparées indiquent que l'effet est significatif uniquement pour les conditions disparition au-dessus et en dessous ($M = 159$ vs $M = 523$), $F(1, 28) = 9.32$, $MSE = 1\,922\,648$, $p < .01$, $\eta_p^2 = .25$, et disparition en dessous, ($M = 59$ vs $M = 746$), $F(1, 28) = 4.22$, $MSE = 6\,841\,489$, $p < .05$, $\eta_p^2 = .13$.

Nombre de fixations d'anticipation sur les titres

L'analyse globale révèle un effet du facteur fenêtre, la présence de la fenêtre donnant lieu à moins de fixation d'anticipation sur les titres ($M = 1.5$ vs $M = 2.3$), $F(1, 84) = 9.88$, $MSE = 78$, $p < .01$, $\eta_p^2 = .11$.

Les analyses séparées indiquent que l'effet est significatif uniquement pour les conditions disparition au-dessus et en dessous ($M = 0.5$ vs $M = 2$), $F(1, 28) = 10.12$, $MSE =$

35, $p < .01$, $\eta_p^2 = .27$, et disparition en dessous, ($M = 0$ vs $M = 2$), $F(1, 28) = 4.77$, $MSE = 54$, $p < .05$, $\eta_p^2 = .15$.

Tableau 4 : Coefficients de corrélation entre les mesures de rappel et les mesures oculaires dans la condition normale (Rho de Spearman)

	Nombre de thèmes rappelés	Score à la tâche de rappel de l'organisation
<i>Mesures de rappel</i>		
Nombre de thèmes rappelés	–	–
Score à la tâche de rappel de l'organisation	.32**	–
<i>Mesures oculaires globales</i>		
Temps total de fixation	.07	–.09
Nombre total de fixations	.16	–.02
Temps passé en regression	.21*	.06
Nombre de fixations régressives	.27*	.11
Pourcentage de régressions	.27*	.20
Durée moyenne de fixation	–.12	–.10
Longueur saccadique	.09	.17
<i>Mesures oculaires locales</i>		
Temps de fixation de premier-passage sur les titres	–.11	–.14
Nombre de fixations de premier-passage sur les titres	–.12	–.09
Temps de fixation de second-passage sur les titres	.26*	.28**
Nombre de fixations de second-passage sur les titres	.26*	.29**
Temps de fixation d'anticipation sur les titres	.24*	–.04
Nombre de fixations d'anticipation sur les titres	.24*	–.03

Note. $n = 87$. ** $p < .01$. * $p < .05$.

Corrélation entre les mesures de rappel et les mesures oculaires

Une analyse de corrélation entre les mesures de rappel et les mesures oculaires a été effectuée. Cette analyse a été réalisée sur les données recueillies dans la condition normale, en excluant les trois conditions fenêtre (disparition au-dessus et/ou en dessous). Cette analyse révèle plusieurs corrélations positives entre la mesure nombre de thèmes rappelés et les mesures oculaires. Comme l'indique le Tableau 4, la variable nombre de thèmes rappelés corrèle positivement avec les variables temps passé en régression ($r = .21$, $p < .05$), nombre de fixations régressives ($r = .27$, $p < .05$), pourcentage de régressions ($r = .27$, $p < .05$), temps de fixation de second-passage sur les titres ($r = .26$, $p < .05$), nombre de fixations de second-

passage sur les titres ($r = .26, p < .05$), temps de fixation d'anticipation sur les titres ($r = .24, p < .05$), et nombre de fixations d'anticipation sur les titres ($r = .24, p < .05$).

La variable score à la tâche de rappel de l'organisation corrèle positivement avec les variables temps de fixation de second-passage sur les titres ($r = .28, p < .01$) et nombre de fixations de second-passage sur les titres ($r = .29, p < .01$).

Comme on peut le voir également dans le Tableau 4, les deux mesures de rappel, nombre de thèmes rappelés et score à la tâche de rappel de l'organisation, corrèlent aussi positivement ($r = .32, p < .01$).

2.2.4. Discussion

Dans la lignée de la précédente expérience, l'objectif de cette expérience était d'examiner les limites verticales de l'empan perceptif en lecture au moyen de la technique de la fenêtre mobile. Les résultats suggèrent fortement que l'empan perceptif peut s'étendre au-delà de la ligne de texte fixée. Lorsque le champ visuel des lecteurs est restreint au-dessus et en dessous de la ligne lue au moyen de la fenêtre mobile, l'activité de lecture et de compréhension du texte semble largement perturbée. Ceci est manifeste au niveau du temps total de lecture mais aussi plus généralement au niveau de presque toutes les mesures oculaires enregistrées pendant la lecture. Ce résultat est cohérent avec les précédentes études qui ont utilisé la technique de la fenêtre mobile (Bertera & Rayner, 2000; Gilman & Underwood, 2003; McConkie & Rayner, 1975; Pomplun, et al., 2001; Rayner, et al., 1981; Rayner & Fisher, 1987b). Dans ces études, lorsque la fenêtre mobile masquait une partie de l'empan perceptif, les auteurs observaient un effet général sur tous les indicateurs oculaires, c'est-à-dire le temps total de fixation mais aussi le nombre de fixations, la longueur des saccades, et la durée des fixations.¹⁶

Deux types d'information très utiles à la compréhension du texte semblent avoir été perçues au-delà de la ligne fixée. Premièrement, il semble que les lecteurs peuvent percevoir en vision extrafovéale les signaux visuels mettant en valeur le niveau hiérarchique respectif des sections et sous-sections (e.g. contraste visuel entre les différents niveaux de titre). Cette information serait très utile car la compréhension d'un texte expositif requiert l'identification des relations hiérarchiques entretenues entre les thèmes du texte (Britton, 1994). Cela est

¹⁶ Nos résultats montrent un effet sur le temps total de lecture, la longueur des saccades, et la durée de fixation. Seul l'effet sur le nombre de fixations n'est pas significatif.

manifeste notamment dans les performances à la tâche de rappel de l'organisation hiérarchique des thèmes. Dans la condition fenêtre, lorsque ces signaux sont peu visibles, les lecteurs ont une moins bonne représentation de l'organisation hiérarchique des thèmes, comme l'atteste leur faible performance à cette tâche.

Deuxièmement, les lecteurs pourraient percevoir la position des titres placés au-delà de la ligne fixée. Cette information permettrait de faciliter le guidage des saccades de relecture vers les titres placés au-dessus de la ligne fixée. Cette information serait très utile car ces relectures facilitent les traitements de hauts niveaux du texte (Hyönä et al., 2002 ; Hyönä et Nurminen, 2006). De plus, nos résultats suggèrent que les lecteurs pourraient aussi utiliser la perception des titres en vision extrafovéale pour guider des saccades de lecture anticipée sur les titres placés en dessous de la ligne fixée. Les coefficients de corrélation observés dans l'expérience permettent également de faire l'hypothèse que ces lectures anticipées seraient utiles à la compréhension du texte (nous reviendrons sur ce point à la fin de la discussion).

L'idée selon laquelle les saccades régressives peuvent être guidées en vision extrafovéale par les signaux visuels contraste avec les idées qui prévalent actuellement dans la littérature. On observe récemment un intérêt croissant pour l'étude du guidage de ce type de saccades (Inhoff & Weger, 2005 ; Kennedy, Brooks, Flynn, & Prophet, 2003 ; Weger & Inhoff, 2006, 2007). Selon ces études, les saccades régressives sont essentiellement guidées par la mémoire spatiale et verbale du texte. Ceci s'explique probablement par le fait que ces études, comme celles menées sur l'empan perceptif, utilisent exclusivement des textes exempts de tout signal visuel. Typiquement, le lecteur lit deux lignes de texte et doit pointer son regard vers un mot déjà lu (Weger & Inhoff, 2007). Grâce à la technique de la fenêtre mobile, les informations linguistiques perçues en vision extrafovéale sont conservées ou non (e.g. les lettres en dehors de la fenêtre sont aléatoirement remplacées par d'autres lettres). Les résultats de ces études montrent que les informations linguistiques perçues en vision extrafovéale ne sont pas utilisées pour guider les saccades régressives. Les auteurs ont alors conclu que ces saccades n'étaient pas guidées par les informations visuelles perçues en vision extrafovéale. On retrouve ici le même problème de généralisation que celui identifié dans le champ de recherche sur l'empan perceptif. Les informations linguistiques ne sont pas les seules informations potentiellement perçues en vision extrafovéale. Nos résultats suggèrent que lorsque le texte contient des signaux visuels, le guidage des fixations régressives pourrait

aussi se faire sur la base des informations relatives aux signaux visuels perçus en vision extrafovéale.

Le but de cette expérience était aussi de mettre en évidence une possible asymétrie verticale de l'empan perceptif. Mais les résultats ne permettent pas de tirer de conclusion définitive par rapport à cette question. L'effet de la fenêtre sur les différentes mesures on-line et off-line est souvent non significatif à la fois dans la condition 'Disparition en dessous' et dans la condition 'Disparition au-dessus'. On peut constater notamment que la fenêtre ne semble pas avoir perturbé les comportements de relecture des titres dans la condition 'Disparition au-dessus'. Ceci pourrait paraître étonnant car, dans cette condition, les titres déjà lus (i.e. les titres placés au-dessus de la région couverte par la fenêtre) n'étaient pas visibles. En réalité, dans cette condition, une procédure simple permettait de dépasser la gêne occasionnée par la fenêtre. Après avoir lue une page entière (ou une bonne partie de la page), si une saccade était dirigée vers le haut de l'écran, la page de texte réapparaissait alors dans son intégralité et tous les titres pouvaient être relus les uns après les autres. Par ailleurs, il n'y a que dans la condition 'Disparition au-dessus et en dessous' que la fenêtre masquait en permanence les contrastes visuels signalant les différents niveaux hiérarchiques du texte. Tous ces signaux visuels étaient visibles en vision extrafovéale au début de la lecture de chaque page dans la condition 'Disparition au-dessus' (lorsque le regard se trouvait en haut de la page) et à la fin de la lecture de chaque page dans la condition 'Disparition en dessous' (lorsque le regard se trouvait en bas de la page). Enfin, comme les lecteurs tirent bénéfice à la fois des relectures des titres placés au-dessus de la ligne fixée et des lectures anticipées des titres placés en dessous de la ligne fixée, il est probable que l'empan perceptif s'étend à la fois au-dessus et en dessous de la ligne fixée. En conclusion, les résultats de cette expérience suggèrent que l'empan perceptif s'étend au-dessus *et* en dessous de la ligne fixée, mais ils ne permettent pas de déterminer si les lecteurs perçoivent et utilisent davantage d'information en provenance des régions supérieures ou inférieures du champ visuel.

Le dernier objectif subsidiaire de l'expérience était de mettre en évidence des corrélations entre les indicateurs oculaires et les mesures de rappel. Les résultats confirment que les relectures sont très utiles dans les processus de compréhension de hauts niveaux. Bien que les coefficients de corrélations que nous ayons observés soient moins élevés que dans l'étude de Hyönä et Nurminen (2006), tous les indicateurs relatifs aux relectures corrèlent significativement avec le nombre de thèmes rappelés. De plus, le temps passé à relire les titres

corrèle significativement avec le score obtenu à la tâche de rappel de l'organisation hiérarchique du texte. Donc ces résultats confirment que les comportements de relecture facilitent les processus de compréhension de hauts niveaux. Plus précisément, ces résultats suggèrent que les relectures facilitent les deux processus essentiels au traitement de la structure thématique du texte, à savoir l'identification et la mémorisation des thèmes du texte, mais aussi l'identification et la mémorisation des relations hiérarchiques entretenues entre les thèmes (Britton, 1994). L'examen des coefficients de corrélation suggère également que les comportements de lecture anticipée des titres peuvent être utiles dans les processus de compréhension de hauts niveaux. Même si la durée de ces temps est généralement infime (cf. Tableau 3), plus les lecteurs adoptent ce comportement et plus leur mémoire des thèmes du texte est bonne. Enfin, il est intéressant de constater que le temps total de lecture du texte n'est pas du tout corrélé avec les performances de rappel.

En résumé, si le but ultime de la lecture est de construire une représentation riche et cohérente du sens du texte, un bon lecteur n'est pas un lecteur qui lit vite ou, au contraire, qui passe beaucoup de temps à lire le texte. Le temps de lecture total ne semble pas être, en soi, un élément déterminant. Ce qui semble déterminant dans la construction de la représentation de la structure thématique c'est, premièrement, de lire de manière anticipée les titres avant de lire le texte en détail et, deuxièmement, de relire le texte pour mémoriser les idées importantes du texte et leurs relations.

Pour conclure, les résultats de cette expérience suggèrent que l'empan perceptif peut s'étendre au-delà de la ligne fixée lors de la lecture d'un texte expositif signalé. Mais une critique pourrait être formulée à l'encontre de l'expérience. Le design de cette expérience (comme celui de l'expérience précédente) ne permet pas de contrôler l'éventuel effet d'artefact causé par la fenêtre mobile. En d'autres mots, une interprétation alternative pourrait être attribuée à nos résultats. Les différences obtenues entre les conditions fenêtre et normale pourraient être attribuées à la gêne causée par le dispositif de fenêtre mobile *per se* et non à la réduction des informations visuelles perçues en vision extrafovéale. En réalité, cette problématique concerne toutes les études utilisant la technique de la fenêtre mobile (Rayner, 1998). De précédentes études se sont déjà penchées sur cette question importante. Elles ont examiné l'effet d'artefact du dispositif *per se* en manipulant notamment la rapidité de la fenêtre au niveau du suivi des déplacements du regard en lecture (Briehl & Inhoff, 1995 ; Inhoff, Starr, Liu, & Wang, 1998). Plus le délai de réaction de la fenêtre est long (e.g. 5, 15,

30 ms) et plus l'effet d'artefact est susceptible d'être important. Ces études sont arrivées à la conclusion que les résultats obtenus avec la technique de la fenêtre mobile en lecture ne pouvaient pas être dus à la gêne occasionnée par le dispositif. La taille de la fenêtre mobile dans notre expérience étant bien plus grande que celles généralement utilisées en lecture, il semble peu probable que nos résultats soient simplement dus à un effet d'artefact du dispositif (cf. plus bas).

L'expérience suivante se propose de traiter la même problématique que les deux expériences précédentes dans le cadre d'une nouvelle tâche, la recherche d'information dans un texte. Nous verrons que cette expérience permet de confirmer que les lecteurs peuvent percevoir la position des titres en vision extrafovéale et utiliser cette information pour guider les saccades vers les titres. Nous verrons enfin que le design de cette expérience permet de s'assurer que les résultats obtenus ne sont pas dus à la gêne potentiellement occasionnée par le dispositif de fenêtre mobile *per se*.

2.3. EXPERIENCE 3 : EFFET DES SIGNAUX VISUELS SUR L'EMPAN PERCEPTIF LORS DE LA RECHERCHE D'INFORMATION DANS UN TEXTE

2.3.1. Introduction

Le but premier de la présente expérience est d'examiner l'effet des signaux visuels sur l'empan perceptif en recherche d'information dans un texte. Une étude précédente de Pollatsek et al. (1993) a conclu que l'empan perceptif ne s'étendait pas au-delà de deux lignes supplémentaires en dessous de la ligne fixée en recherche visuelle dans un texte. Notre hypothèse est que les signaux visuels étendent l'empan perceptif au-delà de cette région.

Pour que les signaux visuels étendent l'empan perceptif au-delà de deux lignes supplémentaires en plus de la ligne fixée, il faut que les signaux visuels soient perçus au-delà de cette région et que le lecteur (ou le 'chercheur') bénéficie de la perception des signaux en vision extrafovéale. Les résultats des deux premières expériences suggèrent que les signaux visuels peuvent être perçus en vision extrafovéale. Il semble que les lecteurs perçoivent la position spatiale des titres en particulier. De plus, des saccades pourraient être guidées par la perception de ces titres en vision extrafovéale. Les résultats de nos deux premières expériences suggèrent que ce 'guidage externe' des saccades serait très utile au lecteur dans une tâche de compréhension, car celui-ci pourrait aisément lire et relire les titres du texte et ainsi améliorer sa compréhension (cf. expérience 2). Nous postulons que le 'guidage externe' des mouvements oculaires sur la base des signaux visuels pourrait être aussi d'une très grande utilité dans une tâche de recherche d'information dans un texte (cf. justification des prédictions plus bas).

Un objectif supplémentaire de cette expérience est d'examiner l'effet respectif des titres et des marques de paragraphe sur la recherche d'information. En référence à la théorie des signaux SARA (Lemarié et al., 2008), les titres et les marques de paragraphe fournissent des informations différentes aux lecteurs. Les marques de paragraphes peuvent signaler les frontières entre les différentes sections du texte. Cette information correspond à la fonction informationnelle de démarcation dans la théorie SARA. Les titres thématiques informent sur l'identité des thèmes abordés dans ces sections, ce qui renvoie à la fonction d'identification des thèmes. Klusewitz et Lorch (2000) ont observé que l'information thématique fournie par les titres facilitait la recherche. De manière surprenante, ils ont aussi observé que l'information de démarcation ne facilitait pas la recherche et pouvait même la ralentir si le

lecteur était familier avec le texte (après avoir déjà lu ou recherché des informations dans le texte). Les auteurs ont proposé que ce résultat était probablement dû au matériel textuel spécifique utilisé dans l'expérience. Il pourrait également être dû au fait que les démarcations entre les sections du texte étaient signalées par des astérisques, un procédé pour le moins inhabituel. Le deuxième objectif de cette expérience est précisément d'examiner cette question. Notre hypothèse est que les informations d'identification des thèmes et de démarcation (Lemarié et al., 2008) peuvent toutes les deux faciliter la recherche d'information.

Dans la présente expérience, les participants devaient chercher dans un texte la réponse à des questions spécifiques. Par exemple, un des deux textes utilisés dans l'expérience présentait successivement des espèces en voie de disparition comme les baleines, les perroquets ou encore les ours. Les participants devaient trouver la réponse à la question suivante : 'Combien d'espèces de perroquets sont considérées comme menacées ?' Comme le montre la Figure 13, les textes contenaient soit aucun signal (condition sans signal), soit des marques de paragraphe signalant les démarcations entre les sections (condition paragraphes), soit des marques de paragraphe et des titres indiquant systématiquement le thème de chaque section (condition titres). Comme pour les expériences précédentes, les textes étaient présentés soit en plein écran (condition normale), soit à travers une fenêtre mobile (condition fenêtre) de 3° d'angle visuel en hauteur. La fenêtre était assez grande pour contenir la ligne fixée et deux lignes de texte au-dessus et en dessous (cf. Figure 13). En cohérence avec l'étude de Klusewitz & Lorch (2000), l'effet de la familiarité avec le texte est examiné en manipulant le nombre de recherches précédemment effectuées dans le texte (deux vs. zéro).

Conformément à nos hypothèses, les marques de paragraphes et les titres devaient faciliter la recherche. Nous nous attendons à des temps de recherche plus courts pour la condition titres par rapport à la condition paragraphes, et pour la condition paragraphes par rapport à la condition sans signal. De plus, nous attendons un effet différent de la fenêtre selon le type de texte. La taille de la fenêtre étant verticalement aussi grande que la taille maximum de l'empan perceptif antérieurement délimitée pour les textes sans signal (Pollatsek et al., 1993, expérience 2), nous ne nous attendons à aucune perturbation de l'activité de recherche pour les textes sans signal. A l'inverse, nous attendons une perturbation de l'activité de recherche pour les textes signalés, c'est-à-dire les textes avec marques de

paragraphe (condition paragraphes) et avec titres (condition titres). Les perturbations de l'activité de recherche pourraient se manifester de la manière suivante.

Dans la condition titres, les participants devraient peu lire le texte (Hartley & Trueman, 1985 ; Klusewitz & Lorch, 2000). Par exemple, cherchant la réponse à la question 'Combien d'espèces de perroquets sont considérées comme menacées ?', les participants devraient lire directement les titres du texte jusqu'à ce qu'un titre pertinent (e.g. les perroquets) soit identifié. Dans ce cas, le phénomène de 'guidage externe' des saccades sur la base des signaux visuels devrait être très utile. Cela permettrait aux participants, dans la condition normale, de diriger de longues saccades directement vers les titres à chaque affichage d'une nouvelle page. A l'inverse, dans la condition fenêtre, les titres placés en dehors de la fenêtre n'étant pas visibles, ce guidage externe est impossible. Les participants devraient balayer le texte du regard en déplaçant progressivement la fenêtre jusqu'à ce qu'un titre apparaisse et soit fixé. Dans cette condition, les longues saccades vers les titres devraient laisser la place à de nombreuses saccades plus courtes et autant de fixations supplémentaires. Un temps de recherche plus important devrait résulter des fixations supplémentaires effectuées dans cette condition par rapport à la condition normale. Enfin, de manière consistante avec les précédentes études qui ont utilisé la technique de la fenêtre mobile (Bertera & Rayner, 2000; Gilman & Underwood, 2003; McConkie & Rayner, 1975; Pomplun et al., 2001; Rayner et al., 1981; Rayner & Fisher, 1987b), la perturbation générale du guidage oculaire devrait aussi se traduire par une augmentation de la durée des fixations.

Dans la condition paragraphes, la fenêtre devrait aussi perturber l'activité de recherche. Comme les premières phrases des paragraphes introduisent en général un nouveau thème (Giora et al., 1996 ; Goldman et al., 1995), les participants pourraient les utiliser approximativement de la même manière que les titres. Au moins certains participants devraient lire ces phrases en priorité pour évaluer, sur la base du thème introduit, si une lecture approfondie du paragraphe est pertinente. Bien sûr, l'information fournie par ces phrases devrait être moins claire que celle fournie par les titres, mais elle devrait tout de même être utile. Dans ce cas, certaines saccades pourraient être guidées par les marques de paragraphes perçues en vision extrafovéale, et ce guidage devrait être perturbé dans la condition fenêtre. En résumé, bien que l'effet de la fenêtre devrait être plus important dans la condition titres, nous attendons un effet relativement similaire de la fenêtre dans les deux conditions signalées.

Pour terminer, le design de l'expérience permettra de s'assurer que les résultats obtenus dans les conditions signalées ne sont pas dus simplement à un effet d'artefact du dispositif de fenêtre mobile *per se*. Si le dispositif de fenêtre mobile est gênant par lui-même, il devrait perturber aussi la recherche d'information pour les textes sans signal. Dans le cas contraire, si l'activité n'est pas perturbée pour les textes sans signal, les résultats obtenus dans les conditions signalées ne pourront pas être attribués à un effet d'artefact.

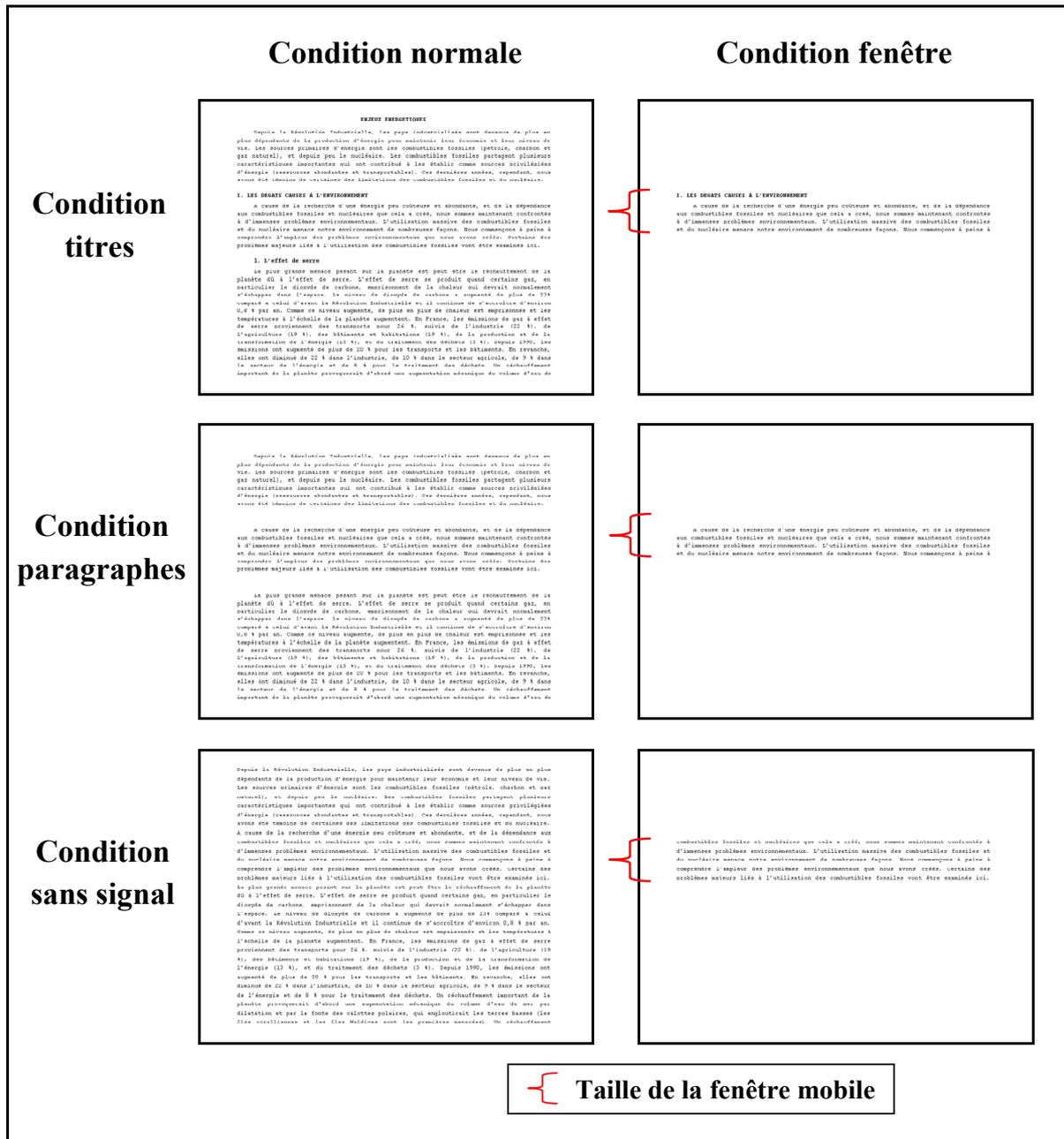


Figure 13 : Illustration du dispositif de fenêtre mobile pour les trois versions de texte

2.3.2. Méthode

Participants

Soixante-six étudiants de l'université de Toulouse le Mirail ont participé à cette expérience. Ils avaient entre 18 et 35 ans. Quarante-quatre participants étaient de sexe féminin. Le français était leur langue maternelle, ils n'avaient pas de problème de vue et ils étaient naïfs au regard des objectifs de l'expérience.

Dispositif

Le dispositif technique était similaire à celui des deux expériences précédentes (cf. Expérience 1 et 2). La distance entre l'écran et l'œil des participants maintenue constante à 80 cm, un caractère couvrait horizontalement 0,25 degrés d'angle visuel et verticalement moins de 0,29 degrés. La fenêtre mobile, continuellement centrée sur la position courante du regard, couvrait verticalement 3,2 degrés d'angle visuel et n'avait aucune limite horizontale (cf. figure 13). La position de la fenêtre était mise à jour seulement si la position du regard changeait d'au moins 0,5 cm (0,4 degrés) au-dessus ou en dessous.

Matériel

Les deux textes expérimentaux ont été créés à partir des textes utilisés dans les expériences précédentes. Un texte traitait de plusieurs espèces animales en voie de disparition et l'autre traitait de questions énergétiques (cf. Annexes 7 et 8). Les deux textes commençaient par une courte introduction, puis abordaient successivement 8 thèmes différents organisés en deux grandes parties. La première partie du texte sur les espèces en voie de disparition regroupait les mammifères menacés et décrivait les chauves-souris, les baleines, les grands singes, les tigres et les ours. La deuxième partie de ce texte regroupait les oiseaux menacés et décrivait les perroquets, les manchots et les oiseaux migrateurs. Les deux parties principales du texte sur l'énergie traitaient des dégâts environnementaux et des énergies renouvelables. La première partie présentait l'effet de serre, les pluies acides et les déchets radioactifs. La deuxième partie présentait l'énergie solaire, l'énergie géothermique, l'énergie marémotrice, l'énergie éolienne et l'énergie océano-thermique.

Trois versions ont été construites pour chaque texte (cf. Annexes 7 et 8). Une première version de texte était exempte de tout signal (condition sans signal), une deuxième contenait des marques de paragraphes séparant chaque thème (condition paragraphes), et une troisième

contenait des marques de paragraphe et des titres (condition titres). Dans la version avec titres et marques de paragraphe, chaque thème était précédé par un titre présentant explicitement le thème (par exemple les chauves-souris, les baleines). Les titres étaient signalés en gras dans le texte. La version avec marques de paragraphe seulement était identique à la version avec titres et marques de paragraphe, avec pour unique différence l'absence de titre. La version sans signal était identique à la version avec marques de paragraphe, avec pour unique différence l'absence de marque de paragraphe. Quelque soit la version, les textes occupaient sept pages-écrans et contenaient approximativement 2700 mots.

Trois questions ont été créées pour chacun des deux textes (cf. Annexe 9). Chaque question était affichée au milieu d'une page-écran séparée. Les questions étaient présentées juste avant la recherche dans le texte et il n'y avait qu'une question par recherche. Seuls les résultats liés aux premières et troisièmes questions ont été analysés. Les questions intermédiaires n'avaient pour but que d'accroître la familiarité avec le texte entre les deux recherches analysées. La réponse aux questions était toujours contenue dans une phrase cible du texte. Les questions contenaient toujours des mots clés de la phrase cible et du titre de la section. Par exemple, la phrase cible de la question "Combien d'espèces de perroquets sont considérées comme menacées ?" était "95 espèces de perroquets sont considérées comme menacées, une proportion qu'aucune autre grande famille d'oiseaux n'atteint." Pour chaque texte, les phrases cibles des deux questions étudiées se trouvaient sur les cinquièmes et sixièmes pages-écrans des textes, quelque soient les versions. Les phrases cibles des questions intermédiaires se trouvaient toujours sur la quatrième page-écran (l'ordre de présentation des deux questions analysées était bien évidemment contrebalancé).

Dès qu'une phrase cible était localisée, un écran de validation apparaissait. Cet écran contenait une question à choix multiples qui reportait la question originale et trois réponses possibles, c'est-à-dire la réponse exacte et deux autres réponses qui différaient légèrement. Si le participant sélectionnait la bonne réponse, l'écran disparaissait et la prochaine question apparaissait. Si le participant sélectionnait une mauvaise réponse, un message d'erreur invitant le participant à choisir une autre réponse apparaissait jusqu'à ce que la réponse exacte soit sélectionnée. Le seul but des écrans de validation était de favoriser un bon niveau d'attention des participants pendant l'expérience. Les réponses à ces questions n'ont pas été enregistrées.

En plus des deux textes expérimentaux, un texte d'entraînement a été construit en adaptant le texte sur les sapeurs-pompiers utilisé dans les deux expériences précédentes. Comme pour les textes expérimentaux, des questions ont été créées et trois versions de ce texte (conditions sans signal, paragraphes, titres) ont été construites (cf. Annexe 10 et 11). Contenu mis à part, les questions et les versions étaient identiques en tout point à celles créées pour les textes expérimentaux. Chaque version occupait cinq pages-écrans et contenait environ 1900 mots.

Procédure

L'expérience débutait par une phase de calibrage de l'oculomètre pour chaque participant. Pendant la phase de calibrage, le participant devait regarder successivement neuf points couvrant l'écran. L'exactitude du calibrage était ensuite contrôlée avec le même écran contenant les neuf points et le calibrage était corrigé si nécessaire.

Les participants avaient pour consigne de rechercher la réponse à des questions dans le texte, une à la fois, aussi vite que possible. Chaque question était présentée sur une page-écran séparée avant la recherche dans le texte. Les participants avaient pour consigne de prendre le temps nécessaire à la mémorisation complète des questions avant de commencer la recherche. Ils étaient informés du fait que les réponses aux questions se trouvaient toujours dans une seule phrase. Ils devaient cliquer avec la souris sur cette phrase dès qu'ils l'avaient trouvée. S'ils ne cliquaient pas sur la bonne phrase, un signal sonore retentissait et la recherche continuait. S'ils cliquaient sur la bonne phrase, le texte disparaissait et un écran de validation leur demandait de retrouver la réponse qu'ils venaient de trouver parmi trois réponses possibles : la réponse exacte et deux autres réponses plausibles mais légèrement différentes (cf. matériel). La prochaine question apparaissait alors. Les participants tournaient les pages (passaient à la page-écran suivante et revenaient à la page-écran précédente) en appuyant sur les flèches gauche et droite du clavier. Dès que le participant appuyait sur une flèche du clavier, et avant que la page correspondante s'affiche, une page blanche contenant une croix placée dans le coin en haut à gauche apparaissait. Dès que le participant fixait cette croix, la page suivante s'affichait. Ce dispositif permettait de contrôler le point de départ du parcours oculaire de telle sorte qu'il soit identique pour toutes les pages, pour toutes les recherches et pour tous les participants.

Chaque participant cherchait à l'intérieur d'un des deux textes expérimentaux trois fois de suite, puis à l'intérieur de l'autre texte expérimental trois fois de suite également. Avant que les participants ne recherchent à l'intérieur des textes expérimentaux, ils étaient soumis à une phase d'entraînement pour se familiariser avec les aspects techniques de l'expérience et la fenêtre mobile. Pendant cette phase, ils devaient chercher successivement la réponse à deux questions à l'intérieur d'un texte d'entraînement. Les participants étaient affectés aléatoirement à l'une des trois conditions du facteur texte (conditions titres, paragraphes et sans signal). Cette condition restait constante pendant toute l'expérience, phase d'entraînement comprise. Au contraire, le facteur fenêtre (conditions normale et fenêtre) était un facteur intra-sujet. La fenêtre mobile était systématiquement présente pour l'un des deux textes expérimentaux, pour les trois recherches, et absente pour l'autre. Donc le plan d'expérience était un plan mixte à trois facteurs. Le facteur inter-sujet était le facteur texte (conditions titres, paragraphes, sans signal) et les facteurs intra-sujets étaient les facteurs fenêtre (conditions normale vs. fenêtre) et familiarité (première recherche vs. troisième recherche). L'ordre de présentation des textes sur l'énergie et les espèces en voie de disparition, l'affectation des textes aux conditions normale ou fenêtre, et l'ordre de présentation des questions analysées étaient contrebalancés.

2.3.3. Résultats

Les mesures utilisées dans cette expérience comprennent le temps de recherche, le nombre de fixations, la longueur saccadique, et la durée moyenne de fixation (Rayner, 1998). Toutes ces mesures ont été analysées avec une analyse de variance $3 \times 2 \times 2$ (texte \times fenêtre \times familiarité). Le temps de recherche a été enregistré par l'ordinateur expérimental indépendamment de l'enregistrement des mouvements oculaires. Il correspondait à la somme des durées d'affichage des pages de texte, avant que le participant ne clique sur la phrase cible avec la souris (cf. Procédure).

Temps de recherche

La Figure 14 présente les données correspondant au temps de recherche. Le facteur texte a un effet significatif, $F(2, 63) = 44.07$, $MSE = 375\ 958$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .58$. Conformément à nos attentes, deux tests de Scheffé montrent que les textes avec titres ($M = 45$ s) engendrent un temps de recherche plus court que les textes avec marques de paragraphe ($M = 94$ s) qui, à leur tour, engendrent des temps de recherche plus courts que les textes sans

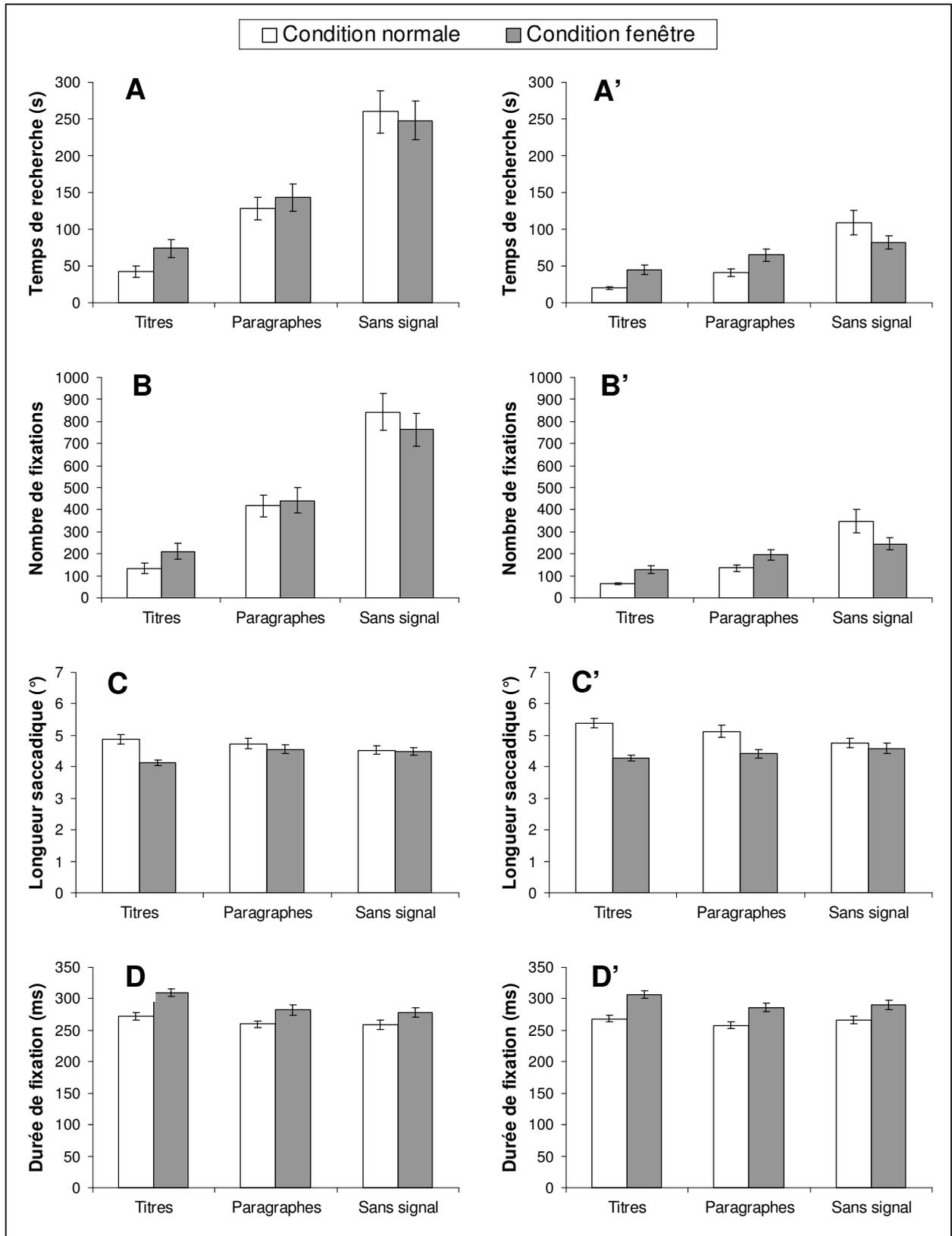


Figure 14 : Temps de recherche (A et A'), nombre de fixations (B et B'), longueur saccadique (C et C'), et durée de fixation (D et D') en fonction des facteurs fenêtre, texte et familiarité. Les sous-figures A, B, C, et D présentent les données pour la première recherche et les sous-figures A', B', C', et D' présentent les données pour la troisième recherche.

signal ($M = 175$ s), $p < .01$ pour les deux tests. Le facteur familiarité a un effet significatif, $F(1, 63) = 64.29$, $MSE = 522\,538$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .51$. L'interaction entre les facteurs texte et familiarité est significative, $F(2, 63) = 12.04$, $MSE = 97\,859$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .28$. En effet, comme le montre la Figure 13, l'effet du facteur texte est plus prononcé pour la première recherche, $F(2, 63) = 30.27$, $MSE = 428\,440$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .49$, que pour la troisième, $F(2, 63) = 18.10$, $MSE = 45\,378$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .37$. Cet effet facilitateur de la familiarité avec le texte est consistant avec l'étude de Klusewitz et Lorch (2000).

En cohérence avec nos hypothèses, on observe une interaction significative entre les facteurs texte et fenêtre, $F(2, 63) = 7.40$, $MSE = 14\,116$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .19$. Une analyse séparée montre que les textes avec titres et les textes avec paragraphes engendrent tous les deux des temps de recherche plus long dans la condition fenêtre que dans la condition normale (titres: 59 s vs. 31 s; paragraphes: 104 s vs. 85 s), $F(1, 21) = 9.52$, $MSE = 17\,554$, $p < .01$, $\eta_p^2 = .31$ et $F(1, 21) = 4.84$, $MSE = 8\,133$, $p < .05$, $\eta_p^2 = .19$ respectivement. Au contraire, les textes sans signal engendrent des temps de recherche légèrement plus courts dans la condition fenêtre que dans la condition normale (165 s vs. 184 s), bien que cette différence ne fasse qu'approcher le seuil de signification, $F(1, 21) = 3.79$, $MSE = 8\,310$, $p = .065$, $\eta_p^2 = .15$. L'interaction entre les facteurs texte et fenêtre est encore significative lorsque la condition titres est exclue de l'analyse, $F(1, 42) = 8.49$, $MSE = 16\,443$, $p < .01$, $\eta_p^2 = .17$, et lorsque la condition paragraphes est exclue de l'analyse, $F(1, 42) = 12.38$, $MSE = 25\,011$, $p < .01$, $\eta_p^2 = .23$. Cependant, elle n'est plus significative lorsque la condition sans signal est exclue de l'analyse ($F < 1$). La triple interaction texte \times fenêtre \times familiarité n'approche pas le seuil de signification ($F < 1$). Globalement, ces résultats semblent montrer un fossé entre la condition sans signal et les conditions signalées (conditions titres et paragraphes) au regard de l'effet de la fenêtre.

Nombre de fixations

On peut constater au vu de la Figure 14 une proximité entre les données liées aux variables temps de recherche et nombre de fixations. En effet, l'analyse de variance montre un pattern de résultats assez similaire. Le facteur texte a un effet significatif, $F(2, 63) = 52.47$, $MSE = 3\,864\,191$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .63$. On compte moins de fixations pour les textes avec titres ($M = 134$) que pour les textes avec paragraphes ($M = 297$), et moins de fixations pour ces derniers que pour les textes sans signal ($M = 550$), $p < .01$ pour les deux tests de Scheffé. L'effet du facteur familiarité, $F(1, 63) = 71.05$, $MSE = 5\,277\,387$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .53$, et

l'interaction entre les facteurs familiarité et texte, $F(2, 63) = 13.77$, $MSE = 1\,023\,131$, $p < .01$, $\eta_p^2 = .30$, sont tous les deux significatifs. Comme on peut le voir sur la Figure 14, cette interaction est due au fait que l'effet du facteur texte est plus prononcé pour la première recherche, $F(2, 63) = 35.60$, $MSE = 4\,429\,638$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .53$, que pour la troisième, $F(2, 63) = 19.47$, $MSE = 457\,684$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .38$.

A nouveau, l'interaction entre les facteurs texte et fenêtre est significative, $F(2, 63) = 9.35$, $MSE = 167\,590$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .23$. Une analyse séparée montre qu'on compte moins de fixations pour les textes avec titres dans la condition normale ($M = 98$) que dans la condition fenêtre ($M = 170$), $F(1, 21) = 6.85$, $MSE = 113\,904$, $p < .025$, $\eta_p^2 = .25$. On observe légèrement moins de fixations pour les textes avec paragraphes dans la condition normale ($M = 276$) que dans la condition fenêtre ($M = 319$), mais cet effet n'est pas significatif, $F(1, 21) = 2.53$, $MSE = 40\,249$, $p = .127$, $\eta_p^2 = .11$. Au contraire, pour les textes sans signal, on observe plus de fixations dans la condition normale ($M = 596$) que dans la condition fenêtre ($M = 504$), $F(1, 21) = 8.71$, $MSE = 184\,922$, $p < .01$, $\eta_p^2 = .29$. L'interaction entre les facteurs texte et fenêtre est toujours significative lorsque la condition titres est exclue de l'analyse, $F(1, 42) = 10.70$, $MSE = 198\,858$, $p < .01$, $\eta_p^2 = .20$, de même que lorsque la condition paragraphes est exclue, $F(1, 42) = 15.56$, $MSE = 294\,545$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .27$. Cependant, elle n'est plus significative lorsque la condition sans signal est exclue de l'analyse ($F < 1$). La triple interaction texte \times fenêtre \times familiarité n'approche pas le seuil de signification ($F < 1$).

Longueur saccadique

L'analyse des données relatives à la variable longueur saccadique révèle un effet simple du facteur fenêtre, $F(1, 63) = 96.27$, $MSE = 15.95$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .60$, et à nouveau une interaction significative entre les facteurs texte et fenêtre, $F(2, 63) = 22.10$, $MSE = 3.66$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .41$. L'interaction est encore significative si n'importe laquelle des conditions de texte est exclue de l'analyse, à savoir la condition titres, $F(1, 42) = 9.17$, $MSE = 1.21$, $p < .01$, $\eta_p^2 = .18$, la condition paragraphes, $F(1, 42) = 49.85$, $MSE = 7.24$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .54$, ou la condition sans signal, $F(1, 42) = 11.52$, $MSE = 2.54$, $p < .01$, $\eta_p^2 = .22$. Comme on peut le voir sur la Figure 14, l'interaction indique que la fenêtre réduit davantage la longueur des saccades pour les textes avec titres (4.21° vs. 5.13°), $F(1, 21) = 80.09$, $MSE = 18.71$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .79$, que pour les textes avec paragraphes (4.49° vs. 4.94°), $F(1, 21) = 20.83$, $MSE = 4.30$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .50$. Cette interaction révèle également que la fenêtre réduit davantage la longueur des saccades pour les textes avec paragraphes que pour les textes sans signal. De manière

surprenante, la différence observée pour les textes sans signal est également significative, $F(1, 21) = 4.72$, $MSE = 0.27$, $p < .05$, $\eta_p^2 = .18$. On peut cependant constater sur la Figure 14 que cette différence est minime (4.54° vs. 4.65°). On observe une interaction entre les facteurs fenêtre et familiarité, $F(1, 63) = 16.26$, $MSE = 2.01$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .21$, indiquant que l'effet de la fenêtre est plus prononcé pour la troisième recherche, $F(1, 63) = 78.05$, $MSE = 14.63$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .55$, que pour la première, $F(1, 63) = 32.71$, $MSE = 3.32$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .34$. Enfin, l'effet de la familiarité est à nouveau significatif, les saccades sont légèrement plus longues pour la troisième recherche ($M = 4.76$) que pour la première ($M = 4.56$), $F(1, 63) = 15.96$, $MSE = 2.80$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .20$. Ni l'effet simple du facteur texte ($F < 1$), ni la triple interaction texte \times fenêtre \times familiarité n'approchent le seuil de significativité ($F = 1.69$; $p = .19$). Etant donné que les temps de recherche étaient substantiellement plus courts pour les textes avec titres et avec marques de paragraphe, on aurait pu s'attendre à une longueur saccadique plus importante pour ces textes due au fait que les participants lisent moins et sautent de larges parties de texte. Cependant, une analyse séparée dans la condition normale de l'effet simple du facteur texte ne révèle pas d'effet significatif. Celui-ci approche seulement le seuil de signification (titres : $M = 5.13^\circ$; paragraphes : $M = 4.94^\circ$; sans signal : $M = 4.65^\circ$), $F(2, 63) = 2.95$, $MSE = 2.58$, $p = .06$, $\eta_p^2 = .09$. Mais la contradiction n'est peut être qu'apparente. Lire plus implique faire plus de saccades de retour à la ligne et ces saccades ont des longueurs très importantes. En effet, la distance entre les marges de gauche et de droite couvre approximativement 21° d'angle visuel. Donc l'effet du facteur texte sur la longueur saccadique a peut être été masqué par ces saccades de retour à la ligne.

Durée de fixation

Les données relatives à la variable durée de fixation sont présentées dans la Figure 14. Les facteurs texte, $F(2, 63) = 3.14$, $MSE = 8\ 269$, $p = .05$, $\eta_p^2 = .09$, et fenêtre, $F(1, 63) = 165.37$, $MSE = 52\ 376$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .72$, sont tous les deux significatifs. De plus, on observe à nouveau une interaction significative entre ces deux facteurs, $F(2, 63) = 5.87$, $MSE = 1\ 858$, $p < .01$, $\eta_p^2 = .16$. Cette interaction est encore significative lorsque la condition paragraphes est exclue de l'analyse, $F(1, 42) = 10.10$, $MSE = 3\ 309$, $p < .01$, $\eta_p^2 = .19$, ou lorsque la condition sans signal est exclue, $F(1, 42) = 5.42$, $MSE = 2\ 138$, $p < .05$, $\eta_p^2 = .11$. Cependant elle n'est plus significative lorsque la condition titres est exclue de l'analyse ($F < 1$). Donc l'interaction indique que l'effet du facteur fenêtre est plus prononcé pour la condition titres (309 ms vs. 270ms), $F(1, 21) = 66.23$, $MSE = 32\ 778$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .76$, que pour les conditions paragraphes (284 ms vs. 259 ms) et sans signal (284 ms vs. 263ms), $F(1,$

21) = 45.39, $MSE = 13\,376$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .68$ et $F(1, 21) = 61.93$, $MSE = 9\,938$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .75$, respectivement.

2.3.4. Discussion

L'objectif premier de cette expérience était d'examiner l'effet des signaux visuels sur l'empan perceptif en recherche d'information dans un texte. En cohérence avec les travaux antérieurs de Klusewitz et Lorch (2000), cette expérience était aussi conçue pour isoler l'effet respectif des titres et des marques de paragraphes sur la recherche d'information. Enfin, cette expérience permettait aussi d'évaluer l'effet d'artefact potentiellement lié au dispositif de fenêtre mobile *per se*.

Conformément à nos prédictions, les résultats montrent que les titres et les marques de paragraphe accélèrent la recherche d'information. En référence à la théorie des signaux SARA (Lemarié et al., 2008) et aux travaux de Klusewitz et Lorch (2000), il semble que les fonctions informationnelles d'identification des thèmes et de démarcation soient toutes deux utiles dans une tâche de recherche d'information. L'effet facilitateur de la fonction de démarcation serait manifeste en particulier quand il est porté par un signal adapté comme les marques de paragraphe.

L'hypothèse centrale à l'origine de cette expérience était que les signaux visuels étendent l'empan perceptif au-delà de la région antérieurement définie par Pollatsek et al. (1993) dans une tâche de recherche visuelle dans un texte. Les résultats soutiennent globalement cette hypothèse. Lorsque le texte contenait des signaux visuels, c'est-à-dire dans les conditions titres et paragraphes, la présence de la fenêtre a perturbé très clairement l'activité de recherche. En référence aux études précédentes qui ont utilisé la technique de la fenêtre mobile (Bertera & Rayner, 2000; Gilman & Underwood, 2003; McConkie & Rayner, 1975; Pomplun et al., 2001; Rayner et al., 1981; Rayner & Fisher, 1987b) il semble que la fenêtre empiète sur l'empan perceptif dans les conditions avec signaux, car on observe un effet quasi-général sur tous les indicateurs (temps total de recherche, nombre de fixations, longueur saccadique, et durée de fixation).

Plus précisément, ces résultats sont consistants avec l'hypothèse de 'guidage externe' introduite dans nos expériences précédentes. Selon cette hypothèse les signaux visuels perçus en vision extrafovéale peuvent guider les déplacements du regard. Les résultats suggèrent que ce guidage peut être extrêmement efficace. Par exemple, lorsque le guidage du regard par les

titres n'est pas possible, le temps de recherche était presque deux fois plus long (59 s vs. 31 s pour les conditions fenêtre et normale respectivement ; cf. Résultats).

A l'inverse, les résultats montrent que la fenêtre ne perturbe pas l'activité de recherche lorsque le texte ne contient pas de signal. On observe des durées de fixation un peu plus longues, mais le nombre de fixations baisse. Cela aboutit à une absence d'effet sur le temps total de recherche. Ce résultat est cohérent avec les résultats observés par Pollatsek et al. (1993, expérience 2) avec des textes sans signal. De plus, il montre que la perturbation de l'activité de recherche causée par la fenêtre mobile, lorsque les textes contiennent des signaux, ne peut pas être attribuée à un effet d'artefact du dispositif. Si tel était le cas, la fenêtre aurait perturbé aussi l'activité de recherche pour les textes sans signal.

Bien que l'effet ne soit pas significatif, on observe même une tendance à l'accélération de l'activité de recherche dans la condition fenêtre. Cela suggère qu'au lieu de porter préjudice à l'activité, la fenêtre pourrait, d'une certaine manière, lui être favorable. Il est possible que l'activité de recherche soit d'une certaine façon plus difficile dans la condition normale parce que le texte fixé est continuellement entouré d'une grande quantité de texte potentiellement parasitant. Cela pourrait créer un effet de 'saturation visuelle'. Dans ce cas là, l'information visuelle perçue en vision extrafovéale pourrait avoir généré de l'interférence. On peut remarquer que cette hypothèse a déjà été évoquée, dans le cas d'une tâche de lecture, par Pollatsek et al. (1993) qui, rappelons-le, ont utilisé des textes sans signal. Pollatsek et al. (1993) proposent que même si l'empan perceptif en lecture est restreint à la ligne fixée, de l'information visuelle interférente peut être parfois perçue au-delà de l'empan. Cette information serait à exclure de l'empan perceptif car elle ne serait en aucune façon utile à l'activité. Cette hypothèse a été par la suite confirmée par Van Overschelde et Healy (2005). Ces auteurs ont montré que le rythme de lecture était accéléré lorsque l'interférence visuelle causée par les lignes de texte adjacentes était diminuée en augmentant la taille de l'interligne.

En conclusion, les résultats de cette expérience montrent que les signaux visuels étendent l'empan perceptif dans une tâche de recherche d'information dans un texte. Il semble que des signaux visuels communs comme les titres et les marques de paragraphe puissent être perçus en vision extrafovéale et fournir un guidage externe très efficace des déplacements du regard sur la page.

3. Discussion générale

3.1. RAPPEL DES OBJECTIFS DE RECHERCHE ET PLAN DE LA DISCUSSION

L'objectif de cette thèse était d'examiner l'influence des signaux visuels sur l'empan perceptif en lecture et en recherche d'information dans un texte. Notre but était d'intégrer les recherches menées sur l'empan perceptif et les recherches menées sur l'impact des signaux visuels sur la compréhension et la recherche d'information dans un texte.

Après avoir rappelé les principaux résultats obtenus dans les trois expériences de cette thèse, nous examinerons les contributions théoriques de notre recherche à l'étude de l'empan perceptif. Nous tenterons ensuite de dégager les limites principales de notre travail et nous proposerons de nouvelles perspectives de recherche. Enfin, nous essayerons de dégager les intérêts de notre recherche au niveau appliqué.

3.2. CONTRIBUTION THEORIQUE A L'ETUDE DE L'EMPAN PERCEPTIF : L'EMPAN TYPOGRAPHIQUE

L'objectif de cette thèse était d'examiner l'influence des signaux visuels sur l'empan perceptif en lecture et en recherche d'information dans un texte. Les résultats reportés dans les trois expériences de cette thèse suggèrent de manière consistante que les signaux visuels peuvent étendre verticalement l'empan perceptif au-delà des régions antérieurement définies.

Les conclusions de l'étude de Pollatsek et al. (1993) soutiennent que l'empan perceptif ne s'étend pas au-delà de la ligne lue en lecture et au-delà de deux lignes en plus de la ligne lue en recherche visuelle dans un texte. Nos résultats montrent que lorsque le texte contient des signaux visuels, la réduction du champ visuel perturbe les activités de lecture et de recherche d'information dans le texte, même si la réduction du champ visuel n'atteint pas les régions antérieurement définies (i.e. la ligne lue en lecture et deux lignes en plus de la ligne lue en recherche visuelle). Dans la première expérience, la perturbation de l'activité de lecture se traduit par une diminution des temps de relecture et par un rappel plus faible des thèmes du texte. Dans la deuxième expérience, plus contrôlée, cette perturbation se traduit non seulement par une diminution des temps de relecture, mais aussi par un ralentissement général du rythme de lecture et un rappel plus faible de l'organisation hiérarchique des thèmes. Enfin, dans la troisième expérience, on observe aussi un ralentissement général de l'activité de recherche d'information. Nous allons maintenant voir les implications de ces résultats dans le champ de recherche lié à l'empan perceptif en lecture et en recherche d'information.

La lecture est une activité complexe qui comprend de nombreux traitements opérant à différents niveaux. Les traitements de hauts niveaux renvoient par exemple à la construction de la représentation de la structure thématique d'un texte. Les traitements de plus bas niveaux renvoient à l'identification des mots ou, à un niveau encore inférieur, au traitement de la longueur et de la forme des mots (Rayner & Liversedge, 2004). Les études antérieures sur l'empan perceptif en lecture ont montré que l'information obtenue au-delà du point de fixation, à droite de l'empan, constituait en quelque sorte un pré-traitement qui facilitait l'identification subséquente des mots (Blanchard et al., 1989 ; Rayner et al., 1982). Si le nombre de lettres visibles est réduit, ces pré-traitements sont affectés. Cela a pour conséquence une perturbation des traitements d'identification des mots et la vitesse de lecture diminue. En revanche, dans ces expériences, les traitements de hauts niveaux ne semblent pas affectés ; on n'observe aucune différence au niveau des performances de rappel quand le nombre de lettres visibles est réduit (Rayner et al., 1981). En résumé, les études précédentes sur l'empan perceptif en lecture se sont centrées sur les processus liés à l'identification des lettres et des mots.

Une remarque similaire peut être faite au sujet de l'étude de Pollatsek et al. (1993, expérience 1 et 2). Cette étude s'est aussi focalisée sur les processus liés à l'identification des mots que ce soit pour l'étude des limites verticales de l'empan en lecture ou en recherche visuelle. Or, une tâche de lecture ou de recherche d'information dans un texte fait intervenir des processus de plus hauts niveaux que les processus liés seulement à l'identification des mots. Dans une tâche de recherche d'information, le lecteur (ou le 'chercheur') a notamment intérêt à développer une stratégie d'inspection sélective des pages de texte. Une lecture exhaustive du texte (l'identification de tous les mots du texte) est un comportement peu efficace dans ce type de tâche (Guthrie & Mosenthal, 1987). Par exemple, dans notre dernière expérience, un des textes présentait des espèces animales en voie de disparition. Une information à rechercher avait trait aux perroquets. Si le lecteur identifie pendant la recherche que le paragraphe qu'il est en train de lire traite d'un tout autre animal (e.g. les baleines), il peut, de manière stratégique, stopper sa lecture et passer directement au paragraphe suivant. Dans l'expérience de Pollatsek et al. (1993, expérience 2), ce type de comportement stratégique n'était pas possible. En raison de contraintes techniques liées au dispositif de fenêtre mobile, les participants avaient pour consigne d'inspecter les lignes de texte les unes après les autres, sans en sauter aucune. De plus, la tâche de recherche était beaucoup plus élémentaire que la notre puisqu'elle nécessitait simplement de localiser un mot cible.

En résumé, les études précédentes menées sur l'empan perceptif en lecture et en recherche visuelle dans un texte se sont centrées sur les processus liés à l'identification des lettres et des mots. Nous avons vu que l'empan perceptif se définit comme la région du champ visuel à l'intérieur de laquelle des informations *utiles* sont perçues (Rayner & Liversedge, 2004). On peut considérer que le but des études précédentes sur l'empan perceptif en lecture et en recherche visuelle dans un texte était de déterminer la région du champ visuel à l'intérieur de laquelle des informations *linguistiques utiles à l'identification des mots* sont perçues. Par conséquent (et de manière tout à fait appropriée) les informations non-linguistiques et les traitements de hauts niveaux ont été généralement considérés comme des sources de nuisance potentielle (des 'variables parasites') dans les protocoles expérimentaux de ces études. C'est en partie pour cette raison que les textes utilisés dans ces expériences étaient des textes assez simples, courts, et dénués de tout signal visuel.

Le but de la présente recherche diffère notablement des buts poursuivis jusqu'à maintenant. Notre recherche s'est focalisée sur les informations non-linguistiques perçues au-delà du point de fixation et sur les traitements de hauts niveaux engagés dans l'activité. En conclusion, on peut légitimement se demander si la présente recherche traite de la même question théorique que les études précédentes. Les résultats reportés dans les trois expériences de cette thèse militent en faveur de la création d'une nouvelle notion théorique, un nouvel empan, nommé *l'empan typographique*¹⁷ (*Text Layout Span*), qui se différencierait de l'empan perceptif tel qu'il a été étudié jusqu'à présent en lecture et en recherche d'information dans un texte. L'empan perceptif 'traditionnel' comprenait uniquement les informations linguistiques utiles à l'identification des mots. Ce nouvel empan comprendrait toutes les informations relatives à la mise en page du texte et utiles à l'activité en jeu (e.g. lecture, recherche d'information) dans son ensemble (i.e. à n'importe quel niveau que ce soit).

L'empan typographique se définit comme la région du champ visuel à l'intérieur de laquelle les informations typographiques utiles à l'activité sont perçues.

Les résultats des trois expériences suggèrent que la taille de cet empan serait plus importante que l'empan perceptif 'traditionnel' car les signaux visuels seraient perçus à une distance plus importante du point de fixation que les lettres et les mots. En réalité, l'idée

¹⁷ Les termes de référence sont les termes anglais 'Text Layout Span'. Le terme 'typographique' n'est qu'une tentative de traduction du terme anglais 'text layout', il renvoie au sens large à tout ce qui relève de la mise en page d'un texte.

générale selon laquelle différents types d'information sont perçus à différentes distances du point de fixation est déjà largement établie dans la littérature (Henderson & Ferreira, 2004). En lecture, la longueur des mots peut être perçue à une plus grande distance à droite du point de fixation que l'identité des mots (McConkie & Rayner, 1975). De sorte que l'empan d'identification lexicale, c'est-à-dire la région à l'intérieur de laquelle les mots peuvent être identifiés, est plus restreint que l'empan perceptif. Cet empan s'étend seulement 8 lettres à droite du point de fixation alors que l'empan perceptif s'étend jusqu'à 14-15 lettres à droite du point de fixation (Rayner et al., 1982). En perception de scènes visuelles, les caractéristiques globales de la scène, comme son agencement spatial général (Sanocki, 2003; Sanocki & Epstein, 1997) ou son thème (e.g. photo d'un paysage, d'un visage ; Rousselet, Joubert, & Fabre-Thorpe, 2005), sont perçus à une distance plus importante de la fovéa que l'identité individuelle des objets (Degraef, Christiaens, & Dydewalle, 1990 ; Henderson, Weeks, & Hollingworth, 1999).

Il est d'ailleurs important de noter que nos résultats ne remettent absolument pas en cause la validité des études précédentes. Nos résultats ne remettent pas en question le fait établi que le nombre de lettres (ou espaces lettres) traitées pendant une fixation en lecture ne dépasse pas 15 lettres à droite du point de fixation et 4 à gauche (Rayner, 1998). Ils plaident simplement en faveur d'une conception théorique de l'empan perceptif qui tienne compte des différents niveaux de traitements en jeu dans l'activité et des signaux visuels comme informations potentiellement utiles.

Examinons maintenant les implications de nos résultats pour les modèles du guidage oculaire en lecture. Nous avons vu que le but de ces modèles est de prédire la localisation et la durée de chaque fixation pendant une activité de lecture en fonction des caractéristiques visuelles (e.g. longueur des mots) et linguistiques (e.g. fréquence lexicale) du texte (Carpenter & Just, 1983 ; Engbert et al., 2005 ; Legge et al., 2002 ; Morrison, 1984 ; O'Regan, 1992 ; Pollatsek et al., 2006a ; Reilly & Radach, 2006 ; Yang & McConkie, 2001). En cohérence avec les conclusions de Pollatsek et al. (1993), un postulat fondamental (plus ou moins implicite) dans tous ces modèles est que les mouvements oculaires en lecture dépendent exclusivement des caractéristiques de la ligne lue, ou dit autrement, qu'aucune information perçue au-delà de la ligne lue ne peut les influencer. Nos résultats suggèrent, pour la première fois à notre connaissance, que ce postulat fondamental pourrait être remis en question. Les résultats de notre deuxième expérience, en particulier, semblent en contradiction avec celui-ci.

Dans cette expérience, le rythme général de lecture ralentit lorsque le texte placé au-delà de la ligne lue est masqué par la fenêtre mobile. Ce résultat suggère que le texte placé au-delà de la ligne lue peut, lui aussi, avoir une influence sur les mouvements oculaires.

3.3. PRINCIPALES LIMITES ET PERSPECTIVES DE RECHERCHE

Les données de cette thèse suggèrent de manière consistante que les signaux visuels peuvent étendre verticalement l'empan perceptif au-delà des régions antérieurement définies. Comme nous l'avons déjà souligné, ces résultats sont inédits et ils ont des implications théoriques importantes (cf. plus haut). Mais, malgré ces avancées, le présent travail de recherche comprend deux limites importantes.

La première limite concerne essentiellement les deux premières expériences de cette thèse. Les signaux visuels utilisés dans ces deux expériences étaient très nombreux (cf. Figures 7 et 9). Ils comprenaient notamment des titres, des sauts de ligne et un système de retrait des paragraphes. La saillance visuelle des différents niveaux de titre était manipulée à travers plusieurs procédés typographiques : la taille des caractères, la mise en gras, la mise en majuscule et l'indentation. Le but de cette procédure était de mettre fortement en valeur la structure thématique du texte, comme nous l'avons souligné dans les parties introductives de ces deux expériences. Les données de ces expériences suggèrent que les signaux visuels peuvent étendre l'empan perceptif en lecture au-delà des régions antérieurement définies (en admettant que les résultats ne sont pas simplement dus à un effet d'artefact de la fenêtre, cf. expérience 2 et 3). Mais ces données comportent une limite importante. Elles ne permettent pas de déterminer les signaux visuels (ou la combinaison de signaux visuels) qui, parmi ceux que nous avons manipulés, sont responsables de cet effet dans ces deux expériences.

La deuxième limite de notre travail est la suivante. Les études menées sur les différences interindividuelles en lecture (Hyönä et al, 2002 ; Hyönä & Nurminen, 2006) et en recherche d'information (Klusewitz & Lorch, 2000) ont mis au jour des différences importantes dans les stratégies globales adoptées par les individus dans la réalisation de ces tâches. Par exemple, Hyönä et al. (2002 ; Hyönä & Nurminen, 2006) ont identifié trois grandes catégories de lecteurs dans une tâche de compréhension de texte expositif : les lecteurs 'linéaires lents', les lecteurs 'linéaires rapides', et les lecteurs 'constructeurs de structure thématique'. Une différence importante entre les lecteurs 'constructeurs de structure thématique' et les deux autres types de lecteurs réside dans leur utilisation des signaux

visuels. Les lecteurs 'constructeurs de structure thématique' relisent beaucoup plus les titres et les premières phrases des paragraphes que les deux autres types de lecteurs et cela leur permet de fournir un meilleur rappel du texte à l'issue de la lecture (Hyönä & Nurminen, 2006). Les analyses réalisées dans les trois expériences de cette thèse ne permettent pas de prendre en considération les différentes stratégies adoptées par les participants. Or, notre ambition étant de prendre en compte les hauts niveaux de traitement en jeu dans la réalisation d'une tâche de lecture ou de recherche d'information, ceci est une limite de notre recherche. Une analyse plus qualitative des patterns oculaires et des données off-line aurait peut être permis de mettre au jour les différences inter-individuelles sous-tendant ces stratégies.

Ces deux limites pourraient être prises en compte en réalisant de nouvelles recherches sur l'empan typographique. De nombreuses questions pourraient être traitées en référence à cette nouvelle notion théorique. Examinons maintenant ces perspectives de recherche.

Les études précédentes menées sur l'empan perceptif horizontal ont mis en évidence que la taille de l'empan n'était pas fixe. Celle-ci est influencée par de nombreux facteurs (voir Rayner, 1998, pour une revue). Par exemple, la taille de l'empan perceptif se réduit si le texte est difficile à lire (Henderson & Ferreira, 1990 ; White et al., 2005) ou si le lecteur a de faibles habiletés de lecture (Chace et al., 2005 ; Rayner, 1986). L'étude de Pollatsek et al. (1993, expérience 1 et 2) montre aussi que l'empan perceptif vertical est plus restreint en lecture qu'en recherche visuelle (Voir aussi Ojanpää et al., 2002 ; Prinz, 1984).

L'empan typographique pourrait lui aussi varier en fonction de plusieurs facteurs. Il pourrait varier en premier lieu en fonction des signaux visuels présents sur la page (cf. limite 1). La question importante qui se pose ici est la suivante. Quels signaux peuvent étendre l'empan typographique et à quelle distance autour du point de fixation ? Nous avons vu que pour qu'une information fasse partie de l'empan perceptif il fallait, d'une part, que l'acuité visuelle soit suffisante pour la percevoir et, d'autre part, que cette information soit utile à l'activité en jeu. Par conséquent, de manière similaire, l'effet des signaux visuels sur l'empan typographique pourrait être déterminé a) par la saillance visuelle du signal en question, et b) par l'utilité du signal dans la réalisation de la tâche. La saillance visuelle d'un signal pourrait varier en fonction de sa réalisation typographique. Enfin, étant donné que l'empan typographique prend en compte les processus liés aux traitements de hauts niveaux, de fortes différences interindividuelles pourraient être observées au niveau de la taille de l'empan en

fonction des stratégies globales adoptées par les individus dans la réalisation de la tâche (cf. limite 2). En résumé, l'empan typographique pourrait varier en fonction :

1. des *signaux visuels* présents sur la page
2. de la *réalisation typographique* des signaux visuels
3. de la *tâche* réalisée
4. des caractéristiques du *lecteur*

Voyons maintenant quelques exemples hypothétiques de variation de l'empan typographique en fonction des ces quatre catégories de facteurs.

L'empan typographique pourrait varier en fonction des *signaux visuels* présents sur la page (point 1). Les titres sont probablement plus saillants visuellement que les marques de paragraphe. Les marques de paragraphes, à leur tour, sont probablement plus saillantes que la mise en italique de mots isolés. Donc, la taille de l'empan typographique devrait être plus importante si le texte contient des titres que si il contient uniquement des marques de paragraphes ou quelques mots mis en italique.

L'empan typographique pourrait varier en fonction de la *réalisation typographique* des signaux visuels présents sur la page (point 2). Un même signal visuel pourrait aussi être plus ou moins saillant selon sa réalisation typographique. Par exemple, la saillance d'une marque de paragraphe pourrait être plus importante si le paragraphe est signalé par une indentation et un saut de ligne plutôt que par une indentation uniquement. Un titre pourrait être identifié à une plus grande distance du point de fixation si il contraste visuellement avec le corps du texte grâce à une mise en gras. Donc, la taille de l'empan typographique devrait être plus importante si le contraste visuel entre les titres et le corps du texte est accentué par une variation typographique de mise en gras. Une expérience menée par Rayner et Fisher (1978a) pourrait corroborer ces prédictions. Dans cette expérience, les participants devaient chercher une lettre cible dans des lignes et des colonnes de lettres. La taille de l'empan perceptif était examinée avec la technique de fenêtre mobile. Les auteurs ont observé que la taille de l'empan augmentait au fur et à mesure que le contraste visuel entre la lettre cible et les lettres distractives augmentait.

L'empan typographique pourrait varier en fonction de la *tâche* réalisée par le lecteur (point 3). Les études menées sur la compréhension de texte et la recherche d'information dans

un texte montrent que l'utilité des signaux varie en fonction de la tâche. L'utilité des marques de paragraphe est très restreinte dans une tâche de compréhension de texte (e.g. Goldman et al., 1995 ; Hyönä, 1994). À l'inverse, l'étude de Klusewitz et Lorch (2000) et la troisième expérience de cette thèse montrent que les marques de paragraphe jouent un rôle important dans une activité de recherche d'information. Donc, la taille de l'empan typographique devrait être plus importante dans une tâche de recherche d'information que dans une tâche de lecture si le texte contient simplement des marques de paragraphes.

L'empan typographique pourrait varier en fonction des caractéristiques du *lecteur* (point 4). Nous avons vu que Hyönä et al. (2002 ; Hyönä & Nurminen, 2006) ont identifié trois grandes catégories de lecteurs dans une tâche de compréhension de texte expositif : les lecteurs 'linéaires lents', les lecteurs 'linéaires rapides', et les lecteurs 'constructeurs de structure thématique'. Une différence importante entre les lecteurs 'constructeurs de structure thématique' et les deux autres types de lecteurs réside dans leur utilisation des signaux visuels. Les lecteurs 'constructeurs de structure thématique' relisent beaucoup plus les titres et les premières phrases des paragraphes que les deux autres types de lecteurs. Si les lecteurs 'constructeurs de structure thématique' utilisent plus les signaux visuels que les autres lecteurs, l'empan typographique pourrait être plus important pour ces lecteurs que pour les autres.¹⁸

En raison des nombreux facteurs susceptibles de l'influencer, la taille de l'empan typographique pourrait être très variable. Une des versions de texte utilisées dans la troisième expérience de cette thèse contenait des titres. Comme le montre la Figure 13, les titres étaient très saillants visuellement par rapport au corps du texte. De plus, ils étaient très utiles dans la

¹⁸ En référence à ce point, nous avons réalisée une analyse *exploratoire* des données de notre deuxième expérience. Bien qu'aucune conclusion définitive ne puisse être tirée à partir des résultats de cette analyse, ils nous encouragent à examiner l'influence des caractéristiques des lecteurs sur l'empan typographique. Dans cette analyse, nous avons distingué deux groupes de participants sur la base de leur performance à la tâche de rappel des thèmes du texte dans la condition normale. Les participants ayant obtenu un score au-dessus de la médiane ont formé le groupe dit de 'bons rappelés' et les participants ayant obtenu un score en dessous de la médiane ont formé le groupe des 'mauvais rappelés'. Nous avons ensuite réalisé une ANOVA (2 x 2) pour examiner l'effet de la fenêtre mobile sur les performances de rappel de ces deux groupes, quelque soit la condition fenêtre (Disparition au-dessus et/ou en dessous). Les résultats montrent que l'effet de la fenêtre est différent pour les bons et les mauvais rappelés. On observe une interaction significative entre le facteur groupe (bon vs mauvais rappelés) et le facteur fenêtre (condition normale vs condition fenêtre), $F(1, 85) = 24.52$, $MSE = .311$, $p < .01$, $\eta_p^2 = .22$. Cette interaction est due au fait que la présence de la fenêtre détériore les performances de rappel pour les 'bons rappelés', $F(1, 46) = 19.13$, $MSE = .260$, $p < .01$, $\eta_p^2 = .29$, et au contraire *améliore* les performances de rappel pour les 'mauvais rappelés', $F(1, 39) = 7.16$, $MSE = .083$, $p < .05$, $\eta_p^2 = .16$. Ces résultats nous encouragent donc à penser que l'empan typographique pourrait être très différent selon les caractéristiques du lecteur. Mais, encore une fois, ces résultats sont à considérer avec précaution car ils ne tiennent pas compte des différentes conditions fenêtre (aucune différence significative n'apparaît lorsque les différentes conditions fenêtre sont examinées de manière indépendante).

tâche de recherche car ils contenaient des mots clés permettant de trouver rapidement l'information cible. Il est possible que dans cette condition la présence des titres ait pu être perceptible quasiment à n'importe quelle distance du point de fixation. Dans ce cas, si la taille de la fenêtre mobile était manipulée dans le but de déterminer la taille exacte de l'empan typographique, les résultats montreraient peut-être que l'empan typographique recouvre la page entière. En effet, on pourrait être en présence d'un phénomène de 'pop up' comme dans le cas d'une recherche visuelle dite 'parallèle' (Treisman & Gelade, 1980 ; Wolfe & Cave, 1990 ; Zelinsky & Sheinberg, 1997). Dans ce type de recherche visuelle, les individus doivent déterminer si un objet cible (e.g. une croix rouge) est présent parmi des distracteurs (e.g. des croix et des ronds bleus). La cible étant très saillante par rapport aux distracteurs (e.g. rouge contrairement à tous les distracteurs), elle semble 'sauter aux yeux' (d'où le terme de 'pop up'). Sa présence peut être identifiée à une grande distance du point de fixation et parfois même sans effectuer aucun mouvement oculaire (Zelinsky & Sheinberg, 1997).

A l'inverse, en cohérence avec les hypothèses développées plus haut, si le texte contient seulement quelques marques de paragraphe faiblement signalées visuellement, et que le lecteur s'en sert peu dans la réalisation de la tâche, l'empan typographique pourrait être quasiment inexistant.

Enfin, des données de neuroimagerie cérébrale pourraient confirmer que les signaux visuels sont perçus en vision extrafovéale. Il a été montré que les stimuli visuels n'engendrent pas le même pattern d'activité neuronale selon qu'ils sont perçus en vision fovéale ou extrafovéale (Liu & Ioannides, 2006 ; Levy, Hasson, Avidan, Hendler, & Malach, 2001). Plus précisément, ces études ont montré une activité différente du gyrus fusiforme postérieur selon que le stimulus est perçu en vision fovéale ou extrafovéale. Si les signaux visuels sont perçus en vision extrafovéale, les informations visuelles traitées devraient provenir à la fois de la vision fovéale et de la vision extrafovéale pendant la lecture d'un texte contenant des signaux visuels. A l'inverse, si le texte est dépourvu de signaux visuels, ou si la perception des signaux visuels en vision extrafovéale est obstruée par la technique de la fenêtre mobile, les informations traitées devraient provenir essentiellement de la vision fovéale. Si une activité neuronale différente (e.g. au niveau du gyrus fusiforme) était observée selon que des signaux visuels sont ou non visibles en vision extrafovéale (les informations perçues en vision fovéale étant maintenues constantes), cela confirmerait que les signaux visuels sont perçus en vision extrafovéale.

3.4. INTERETS APPLIQUES ET PERSPECTIVES DE RECHERCHE

Le présent travail de recherche, ainsi que de nouvelles perspectives de recherches associées à la notion d'empan typographique, pourraient contribuer à l'étude de plusieurs problématiques appliquées. Ces problématiques concernent les éléments suivants : l'espace interligne dans un texte, les fenêtres et les écrans de petite taille, la présentation visuelle d'une page web, et l'apprentissage de la lecture.

3.4.1. L'espace interligne dans un texte

Une première problématique appliquée à laquelle nos travaux pourraient contribuer concerne une caractéristique basique de la présentation visuelle des textes : l'espace interligne. Toutes les études menées sur cette question ont montré que l'activité de lecture bénéficiait d'un espace interligne important car la vitesse de lecture augmente lorsque cet espace est accru (Kolers, Duchnicky, & Ferguson, 1981 ; Kruk & Muter, 1984 ; Ling & van Schaik, 2007). Ce résultat serait dû notamment au fait que de l'information visuelle interférente pourrait parfois provenir des lignes adjacentes (Van Overschelde & Healy, 2005). Toutes ces études préconisent donc un espace interligne plus important pour un meilleur confort de lecture.

Cependant, plus l'espace interligne est grand, plus le nombre de lignes affichées sur la page est restreint. Donc l'augmentation de l'interligne 'dilue' inévitablement la mise en page du texte. Notre travail suggère qu'un effet préjudiciable collatéral à l'augmentation de l'interligne est l'appauvrissement des informations de mise en page perçues en vision extrafovéale. Si le texte contient des signaux visuels très utiles à son traitement (lecture, recherche d'information), un interligne trop important pourrait ne pas être souhaitable. Dans ce cas, un juste milieu pourrait être trouvé entre réduction des informations visuelles interférentes provenant des lignes adjacentes, d'une part, et conservation des signaux visuels perçus en vision extrafovéale d'autre part.

3.4.2. Le préjudice causé par les fenêtres et les écrans de petite taille

Il est établi dans la littérature que les fenêtres et les écrans de petite taille sont préjudiciables à la lecture sur ordinateur. Les études conduites sur cette problématique ont généralement montré que le rythme de lecture ralentissait si le nombre de lignes présentées à l'écran était restreint (Creed, Dennis, & Newstead, 1988 ; Debruijn et al., 1992 ; Duchnicky,

& Kolers, 1983 ; Kruk, & Muter, 1984 ; voir cependant Dillon, Richardson, & McKnight, 1990). Si ce résultat semble clair, son explication, c'est-à-dire la source du préjudice causé par la petite taille des fenêtres, est plus difficile (Baccino & Colombi, 2000). Jusqu'à maintenant ce résultat paraissait irréconciliable avec les recherches fondamentales menées sur l'empan perceptif. La quantité d'informations visibles en une fixation étant très restreinte, la taille des fenêtres et des écrans ne devrait pas affecter sensiblement l'activité de lecture. Au contraire, la notion d'empan typographique semble plus appropriée pour rendre compte de la source du préjudice causé par la petite taille des fenêtres et des écrans. Sans exclure d'autres explications valables (e.g. gêne occasionnée par une activité de scrolling), il est possible de postuler sur la base des résultats de cette thèse que ce préjudice est en partie causé par l'appauvrissement des informations de mise en page perçues en vision extrafovéale. Cette hypothèse pourrait être testée dans une étude ultérieure en comparant l'effet de la taille d'un écran ou d'une fenêtre selon que le contenu textuel est fortement ou faiblement structuré visuellement.

3.4.3. La présentation visuelle d'une page web

En raison du développement rapide d'Internet, l'optimisation de l'utilisabilité des sites Internet est devenu un enjeu majeur. L'utilisabilité d'un site web dépend en partie de la manière dont les informations sont présentées à l'écran (Baccino, 2005 ; Leger, Tijus, & Baccino, 2006). De nouvelles perspectives de recherches basées sur la notion d'empan typographique pourraient contribuer à l'étude de problématiques liées à la présentation visuelle des informations sur une page web.

Les informations non-linguistiques de mise en page pullulent généralement sur une page web. Les données de cette thèse suggèrent que, lors de la lecture d'un texte expositif, deux types d'informations non-linguistiques sensiblement différentes peuvent être perçues en vision extrafovéale : au niveau local, la présence et la position d'éléments individuels visuellement saillants comme les titres, et à un niveau plus global, les contrastes visuels mettant en valeur le niveau hiérarchique respectif des sections et sous-sections (e.g. le contraste visuel entre les différents niveaux de titre). Le premier type d'information (i.e. la présence et la position des titres) pourrait faciliter le guidage des déplacements du regard en permettant la programmation de plus longues saccades vers ces éléments. Le deuxième type d'information (i.e. les signaux visuels relatifs aux relations hiérarchiques entre les sections) pourrait être utilisé pour construire une représentation plus exacte de l'organisation

hiérarchique du contenu du texte. Un parallèle peut être fait entre ces deux types d'informations et les informations de mise en page que l'on peut rencontrer sur une page web. En effet, on peut également distinguer des éléments locaux et globaux dans la mise en page d'une page web.

Un élément local de mise en page est par exemple la typographie utilisée pour signaler les liens hypertextes de la page web. La saillance visuelle des liens hypertextes peut être localement accentuée par de tels changements typographiques. On trouve d'ailleurs dans la littérature des expériences qui ont testé l'effet d'une modification typographique des liens hypertextes. Ces études montrent que la recherche visuelle de ces liens est facilitée si leur taille de caractère est accrue (Grahame, Laberge, & Scialfa, 2004) ou si ils sont mis en gras ou soulignés (Ling & Schaik, 2004).

Nous avons vu que le contenu d'un texte expositif était généralement hiérarchiquement structuré et que cette hiérarchie pouvait être signalée à un niveau global par des contrastes visuels. De même, une page web dispose généralement d'une structure hiérarchique globale (Baccino, 2005). Différentes zones peuvent être distinguées. Par exemple, à un premier niveau, on peut distinguer les zones de navigations (e.g. menus) et les zones de contenu (e.g. textes, images). Ces différentes zones peuvent à leur tour être 'découpée' en zones de taille plus petite, à un niveau inférieur. Cet emboîtement hiérarchique peut être mis en valeur et signalé visuellement par la présentation visuelle de la page (e.g. cadres saillants qui séparent les zones de premier niveau ; Leger, Tijus, & Baccino, 2005).

En résumé, l'étude de l'empan typographique dans le contexte de la lecture d'un texte écrit pourrait être transposée au contexte plus appliqué de la consultation de pages web. Le concept d'empan typographique pourrait être étudié dans ces deux contextes. De la même manière que les signaux visuels d'un texte sont perçus en vision extrafovéale, les éléments saillants de la mise en page d'une page web pourraient être perçus en vision extrafovéale. Nous avons souligné dans nos perspectives de recherche que tous les signaux visuels n'étaient probablement pas perçus à une même distance du point de fixation et que l'effet des différents signaux visuels sur l'empan typographique restait à déterminer. De la même manière, il serait très utile de déterminer, premièrement, quelles caractéristiques locales et globales de la mise en page d'une page web peuvent être perçues en vision extrafovéale et, deuxièmement, à quelles distances du point de fixation ces caractéristiques peuvent être perçues. La technique de la fenêtre mobile pourrait être utilisée pour traiter ces deux questions. Pour répondre à la

première question, différentes caractéristiques de la mise en page d'une page web pourraient être manipulées au-delà de la région fenêtre dans le but de mettre en évidence les caractéristiques avantageusement perçues en vision extrafovéale (e.g. typographie des liens hypertextes, signalement de la séparation entre les zones de navigation et les zones de contenu, couleur, mouvement). Pour répondre à la deuxième question, il serait nécessaire de manipuler la taille de la fenêtre mobile pour identifier le seuil où l'activité étudiée n'est plus perturbée.

La détermination des éléments visuels d'une page web perçus en vision extrafovéale est un enjeu appliqué potentiellement important pour deux raisons. Premièrement, c'est en partie sur la base de ces informations que le regard est orienté. Autrement dit, à partir de ce qu'il perçoit en vision extrafovéale, un internaute peut décider d'inspecter ou au contraire de ne jamais inspecter une zone particulière. Deuxièmement, étant donné que les internautes passent généralement très peu de temps sur une page web, l'essentiel des informations perçues peut provenir de la vision extrafovéale.

Un outil pourrait être mis au point pour mieux prendre en compte les limites du système visuel de l'utilisateur dans la conception d'un site web. Cet outil se présenterait sous la forme d'un logiciel de traitement d'image et son principe serait le suivant. Sur la base des connaissances accumulées sur le fonctionnement du système visuel ou sur la base du plan de recherche suggéré ici, l'image d'une page web serait traitée de manière à faire disparaître les informations visuelles non perceptibles en vision extrafovéale. Le principe du logiciel serait de donner à voir au concepteur d'un site web une simulation de ce que perçoit réellement un internaute pendant une fixation en raison des limitations de son système visuel. Le concepteur pourrait ainsi faire des choix de mise en page et de design du site qui optimisent l'utilité de la vision périphérique des internautes. Des recommandations pourraient bien évidemment être associées à cet outil pour faciliter et éclairer les choix du concepteur.

3.4.4. L'apprentissage de la lecture

Nous avons examiné, dans la deuxième expérience de cette thèse, les coefficients de corrélation entre les mesures oculaires enregistrées pendant la lecture du texte (mesures on-line) et les mesures de rappel (mesures off-line). Nous avons observé les résultats suivants. Le temps total de lecture ne corrèle pas avec les performances de rappel. On n'observe également aucune corrélation entre le temps de lecture des titres (et non de relecture) et les performances

de rappel. En revanche, tous les indicateurs relatifs aux relectures corrèlent significativement avec les performances de rappel. Plus les lecteurs reviennent sur des passages de texte déjà lus et plus ils rappellent de thèmes du texte. En outre, le temps passé à relire les titres du texte, en particulier, corrèle significativement avec le score obtenu à la tâche de rappel de l'organisation hiérarchique du texte. Ces résultats confirment que les comportements de relecture facilitent les processus de compréhension de hauts niveaux (Hyönä & Nurminen, 2006). Plus précisément, ces résultats suggèrent que les relectures facilitent deux processus de haut niveau essentiels à la compréhension des textes expositifs, à savoir l'identification des thèmes du texte, et l'identification des relations hiérarchiques entretenues entre les thèmes (Britton, 1994).

Les implications de ces résultats dans le domaine de l'apprentissage de la lecture sont les suivantes. De nombreuses méthodes dites 'de lecture rapide' rencontrent un succès populaire depuis de nombreuses années. Ces méthodes prétendent généralement amener leurs adeptes à un rythme de lecture plus rapide (e.g. deux ou trois fois plus rapide) tout en gardant un niveau de compréhension identique. Pour accéder à une vitesse de lecture accrue, elles préconisent généralement le bannissement des saccades régressives, c'est-à-dire les mouvements de retour en arrière du regard (e.g. Buzan, 2006 ; Cutler, 2002 ; Litherland, 1993). Comme le soulignent Hyönä et Nurminen (2006), le fait que les relectures soient très utiles dans l'établissement des traitements de hauts niveaux du texte met en cause le bien fondé de ce type de préconisation. A l'inverse, il confirme le bien fondé de méthodes d'apprentissage de la lecture qui encouragent le lecteur à relire le texte lorsqu'il rencontre une difficulté de compréhension (Bossert & Schwantes, 1995 ; Garner & Hare, 1984 ; Garner, Hare, Alexander, Haynes, & Winograd, 1984).

Les données de cette thèse ont aussi permis de mettre en évidence, pour la première fois à notre connaissance, l'existence d'un comportement de balayage anticipé du texte avant la lecture. L'examen des coefficients de corrélation montre que ce comportement est aussi utile dans les traitements de hauts niveaux du texte. Plus les lecteurs adoptent ce comportement et plus leur mémoire des thèmes du texte est bonne. Donc, en résumé, il semble que pour bien comprendre un texte, un lecteur doit se départir d'une lecture linéaire. Il peut briser cette linéarité, non seulement, en relisant des passages précédents du texte, mais aussi en examinant de manière anticipée les titres à venir. La qualité de la compréhension du

texte dépendrait davantage de ce comportement stratégique (Hyönä & Nurminen, 2006) que de la quantité totale de temps alloué au texte.

Références

- Baccino, T. (2004). *La lecture électronique*. PUG: Coll. Sciences et Technologies de la Connaissance.
- Baccino, T. (2005). Guider le regard par la structure visuelle des portails Internet, *Actes du Colloque "Société de l'Information" SHS-CNRS*, pp.17-21, Lyon, 19-21 Mai 2005.
- Baccino, T., & Colombi, T. (2000). L'analyse des mouvements des yeux sur le web. *Revue d'Intelligence Artificielle*, 14, 127-148.
- Baccino, T., & Pynte, J. (1998). The spatial coding and referential processing during reading. *European Psychologist*, 3, 51-61.
- Balota, D., Pollatsek, A., & Rayner, K. (1985). The interaction of contextual constraints and parafoveal visual information in reading. *Cognitive Psychology*, 17, 364-390.
- Bertera, J. H., & Rayner, K. (2000). Eye movements and the span of the effective stimulus in visual search. *Perception & Psychophysics*, 62, 576-585.
- Binder, K. S., Pollatsek, A., & Rayner, K. (1999). Extraction of information to the left of the fixated word in reading. *Journal of Experimental Psychology-Human Perception and Performance*, 25, 1162-1172.
- Blanchard, H. E., Pollatsek, A., & Rayner, K. (1989). The Acquisition of Parafoveal Word Information in Reading. *Perception & Psychophysics*, 46, 85-94.
- Bossert, T. S., & Schwantes, F. M. (1996). Children's comprehension monitoring: Training children to use rereading to aid comprehension. *Reading Research and Instruction*, 35, 109-121.
- Briihl, D., & Inhoff, A. W. (1995). Integrating Information across Fixations During Reading - the Use of Orthographic Bodies and of Exterior Letters. *Journal of Experimental Psychology-Learning Memory and Cognition*, 21, 55-67.
- Britton, B. K. (1994). Understanding expository text: building mental structures to induce insights. In M. A. Gernsbacher (Ed.), *Handbook of psycholinguistics* (pp. 641-674). San Diego: Academic Press.
- Buzan, T. (2006). *The speed reading book*. Edinburgh: BBC Active.
- Carpenter, P. A., & Just, M. A. (1983). What your eyes do while your mind is reading. In K. Rayner (Ed.), *Eye movements in reading: Perceptual and language processes* (pp. 275-307). New York: Academic Press.

- Cashen, V. M., & Leicht, K. L. (1970). Role of the isolation effect in a formal educational setting. *Journal of Educational Psychology*, *61*, 484-486.
- Cataldo, M. G., & Oakhill, J. (2000). Why are poor comprehenders inefficient searchers? An investigation into the effects of text representation and spatial memory on the ability to locate information in text. *Journal of Educational Psychology*, *92*, 791-799.
- Chace, K. H., Rayner, K., & Well, A. D. (2005). Eye movements and phonological parafoveal preview: Effects of reading skill. *Canadian Journal of Experimental Psychology- Revue Canadienne De Psychologie Experimentale*, *59*, 209-217.
- Christensen, M., & Stordhal, K. E. (1955). The effect of organizational aids on comprehension and retention. *Journal of Educational Psychology*, *46*, 65-74.
- Creed, A., Dennis, I., & Newstead, S. (1988). Effects of Display Format on Proofreading with Vdus. *Behaviour & Information Technology*, *7*, 467-478.
- Crouse, J. H., & Idstein, P. (1972). Effects of Encoding Cues on Prose Learning. *Journal of Educational Psychology*, *63*, 309-313.
- Cutler, W. E. (2002). *Triple your reading speed*. New York: Pocket Books, Simon & Schuster Inc.
- Daneman, M., & Carpenter, P. A. (1980). Individual differences in working memory and reading. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, *19*, 450-466.
- Debruijn, D., Demul, S., & Vanoostendorp, H. (1992). The Influence of Screen Size and Text Layout on the Study of Text. *Behaviour & Information Technology*, *11*, 71-78.
- Degraef, P., Christiaens, D., & Dydewalle, G. (1990). Perceptual Effects of Scene Context on Object Identification. *Psychological Research-Psychologische Forschung*, *52*, 317-329.
- Dejong, T., & Fergusonhessler, M. G. M. (1986). Cognitive Structures of Good and Poor Novice Problem Solvers in Physics. *Journal of Educational Psychology*, *78*, 279-288.
- Denbuurman, R., Roersema, T., & Gerrissen, J. F. (1981). Eye-Movements and the Perceptual Span in Reading. *Reading Research Quarterly*, *16*, 227-235.
- Desmette, D., Hupet, M., & Schelstraete, M. A. (1995). Adaptation en langue française du 'Reading Span Test' de Daneman et Carpenter (1980). *L'année Psychologique*, *95*, 459-482.
- Dillon, A., Richardson, J., & McKnight, C. (1990). The Effects of Display Size and Text Splitting on Reading Lengthy Text from Screen. *Behaviour & Information Technology*, *9*, 215-227.

- Dreher, M. J., & Guthrie, J. T. (1990). Cognitive-Processes in Textbook Chapter Search Tasks. *Reading Research Quarterly, 25*, 323-339.
- Drieghe, D., Rayner, K., & Pollatsek, A. (2005). Eye movements and word skipping during reading revisited. *Journal of Experimental Psychology-Human Perception and Performance, 31*, 954-969.
- Duchnicky, R. L., & Kolers, P. A. (1983). Readability of Text Scrolled on Visual-Display Terminals as a Function of Window Size. *Human Factors, 25*, 683-692.
- Dyson, M. C., & Gregory, J. (2002). Typographic cueing on screen. *Visible Language, 36*, 326-346.
- 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.
- Engbert, R., Nuthmann, A., Richter, E. M., & Kliegl, R. (2005). SWIFT: A dynamical model of saccade generation during reading. *Psychological Review, 112*, 777-813.
- Farris, J. S., Jones, K. S., & Elgin, P. D. (2002). Users' schemata of hypermedia: what is so 'spatial' about a website? *Interacting with Computers, 14*, 487-502.
- Fowler, R. L., & Barker, A. S. (1974). Effectiveness of Highlighting for Retention of Text Material. *Journal of Applied Psychology, 59*, 358-364.
- Garner, R., & Hare, V. C. (1984). Efficacy of Text Lookback Training for Poor Comprehenders at 2 Age Levels. *Journal of Educational Research, 77*, 376-381.
- Garner, R., Hare, V. C., Alexander, P., Haynes, J., & Winograd, P. (1984). Inducing Use of a Text Lookback Strategy among Unsuccessful Readers. *American Educational Research Journal, 21*, 789-798.
- Gernsbacher, M. A. (1990). *Language comprehension as structure building*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Gilman, E., & Underwood, G. (2003). Restricting the field of view to investigate the perceptual spans of pianists. *Visual Cognition, 10*, 201-232.
- Giora, R., Meiran, N., & Oref, P. (1996). Identification of written discourse topics by structure coherence and analogy strategies: General aspects and individual differences. *Journal of Pragmatics, 26*, 455-474.
- Glynn, S. M., & Divesta, F. J. (1979). Control of Prose Processing Via Instructional and Typographical Cues. *Journal of Educational Psychology, 71*, 595-603.
- Golding, J. M., & Fowler, S. B. (1992). The Limited Facilitative Effect of Typographical Signals. *Contemporary Educational Psychology, 17*, 99-113.

- Goldman, S. R., Saul, E. U., & Coté, N. (1995). Paragraphing, reader, and task effects on discourse comprehension. *Discourse Processes*, 20, 273-305.
- Grahame, M., Laberge, J., & Scialfa, C. T. (2004). Age differences in search of Web pages: The effects of link size, link number, and clutter. *Human Factors*, 46, 385-398.
- Guthrie, J. T., & Mosenthal, P. (1987). Literacy as Multidimensional - Locating Information and Reading-Comprehension. *Educational Psychologist*, 22, 279-297.
- Hartley, J., Bartlett, S., & Branthwaite, A. (1980). Underlining Can Make a Difference - Sometimes. *Journal of Educational Research*, 73, 218-224.
- Hartley, J., & Trueman, M. (1983). The Effects of Headings in Text on Recall, Search and Retrieval. *British Journal of Educational Psychology*, 53, 205-214.
- Henderson, J. M., & Ferreira, F. (1990). Effects of foveal processing difficulty on the perceptual span in reading: Implications for attention and eye movement control. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 16, 417-429.
- Henderson, J. M., & Ferreira, F. (2004). Scene perception for psycholinguists. In J. M. Henderson & F. Ferreira (Eds.), *The interface of language, vision, and action: Eye movements and the visual world* (pp. 1-58). New York: Psychology Press.
- Henderson, J. M., & Hollingworth, A. (2003). Eye movements and visual memory: Detecting changes to saccade targets in scenes. *Perception & Psychophysics*, 65, 58-71.
- Henderson, J. M., McClure, K. K., Pierce, S., & Schrock, G. (1997). Object identification without foveal vision: Evidence from an artificial scotoma paradigm. *Perception & Psychophysics*, 59, 323-346.
- Henderson, J. M., Weeks, P. A., & Hollingworth, A. (1999). The effects of semantic consistency on eye movements during complex scene viewing. *Journal of Experimental Psychology-Human Perception and Performance*, 25, 210-228.
- Heurley, L. (1997). Processing units in written texts: Paragraphs or information blocks? In J. Costermans & M. Fayol (Eds.), *Processing Interclausal Relationships. Studies in the Production and Comprehension of Text* (pp. 179--200). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Hoffman, J. E., & Subramaniam, B. (1995). The Role of Visual-Attention in Saccadic Eye-Movements. *Perception & Psychophysics*, 57, 787-795.
- Hyönä, J. (1994). Processing of topic shifts by adults and children. *Reading Research Quarterly*, 29, 76-90.

- Hyönä, J. (1995). An eye movement analysis of topic-shift effect during repeated reading. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *21*, 1365-1373.
- Hyönä, J., & Lorch, R. F., Jr. (2004). Effects of topic headings on text processing: evidence from adult readers' eye fixation patterns. *Learning and Instruction*, *14*, 131-152.
- Hyönä, J., Lorch, R. F., & Kaakinen, J. K. (2002). Individual differences in reading to summarize expository text: Evidence from eye fixation patterns. *Journal of Educational Psychology*, *94*, 44-55.
- Hyönä, J., Lorch, R. F., Jr., & Rinck, M. (2003). Eye movement measure to study global text processing. In J. Hyönä, R. Radach & H. Deubel (Eds.), *The mind's eye: Cognitive and applied aspects of eye movement research* (pp. 313-334). Amsterdam: Elsevier Science.
- Hyönä, J., & Nurminen, A. M. (2006). Do adult readers know how they read? Evidence from eye movement patterns and verbal reports. *British Journal of Psychology*, *97*, 31-50.
- Hyona, J., & Olson, R. K. (1995). Eye Fixation Patterns among Dyslexic and Normal Readers - Effects of Word-Length and Word-Frequency. *Journal of Experimental Psychology-Learning Memory and Cognition*, *21*, 1430-1440.
- Ikeda, M., & Saida, S. (1978). Span of recognition in reading. *Vision Research*, *18*, 83-88.
- Inhoff, A. W. (1984). 2 Stages of Word-Processing During Eye Fixations in the Reading of Prose. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, *23*, 612-624.
- Inhoff, A. W., & Briihl, D. (1991). Semantic processing of unattended text during selective reading: How the eyes see it. *Perception & Psychophysics*, *49*, 289-294.
- Inhoff, A. W., Eiter, B. M., & Radach, R. (2005). Time course of linguistic information extraction from consecutive words during eye fixations in reading. *Journal of Experimental Psychology-Human Perception and Performance*, *31*, 979-995.
- Inhoff, A. W., & Liu, W. (1998). The perceptual span and oculomotor activity during the reading of Chinese sentences. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *24*, 20-34.
- Inhoff, A. W., Radach, R., & Eiter, B. (2006). Temporal overlap in the linguistic processing of successive words in reading: Reply to Pollatsek, Reichle, and Rayner (2006a). *Journal of Experimental Psychology-Human Perception and Performance*, *32*, 1490-1495.
- 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., & Topolski, R. (1992). Lack of semantic activation from unattended text during passage reading. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 30, 365-366.
- Inhoff, A. W., & Weger, U. W. (2005). Memory for word location during reading: Eye movements to previously read words are spatially selective but not precise. *Memory & Cognition*, 33, 447-461.
- Inhoff, A. W., Starr, M., & Liu, W. M. (1998). Eye-movement-contingent display changes are not compromised by flicker and phosphor persistence. *Psychonomic Bulletin & Review*, 5, 101-106.
- Irwin, D. E. (2004). Fixation location and fixation duration as indices of cognitive processing. In J. M. Henderson & F. Ferreira (Eds.), *The interface of language, vision, and action: Eye movements and the visual world* (pp. 59-104). New York: Psychology Press.
- Just, M. A., & Carpenter, P. A. (1980). A Theory of Reading - from Eye Fixations to Comprehension. *Psychological Review*, 87, 329-354.
- Kaakinen, J. K., Hyönä, J., & Keenan, J. M. (2003). How prior knowledge, WMC, and relevance of information affect eye fixations in expository text. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 29, 447-457.
- Kennedy, A., Brooks, R., Flynn, L. A., & Prophet, C. (2003). The reader's spatial code. In J. Hyönä, R. Radach & H. Deubel (Eds.), *The mind's eye: Cognitive and applied aspects of eye movement research* (pp. 193-212). Amsterdam: Elsevier Science.
- Kieras, D. E. (1981). Component processes in the comprehension of simple prose. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 20, 1-23.
- Kintsch, W. (1988). The Role of Knowledge in Discourse Comprehension - a Construction Integration Model. *Psychological Review*, 95, 163-182.
- Kintsch, W. (1998). *Comprehension: A paradigm for cognition*. New York: Cambridge University Press.
- Klare, G. R., Mabry, J. E., & Gustafson, L. M. (1995). The relationship of patterning (underlining) to immediate retention and to acceptability of technical material. *Journal of Applied Psychology*, 39, 40-42.
- Kliegl, R. (2007). Toward a perceptual-span theory of distributed processing in reading: A reply to Rayner, Pollatsek, Drieghe, Slattery, and Reichle (2007). *Journal of Experimental Psychology-General*, 136, 530-537.
- Kliegl, R., Nuthmann, A., & Engbert, R. (2006). Tracking the mind during reading: The influence of past, present, and future words on fixation durations. *Journal of Experimental Psychology-General*, 135, 12-35.

- Klusewitz, M. A., & Lorch, R. F., Jr. (2000). Effects of headings and familiarity with a text on strategies for searching a text. *Memory & Cognition*, 28, 667-676.
- Kobasigawa, A., Lacasse, M. A., & Macdonald, V. A. (1988). Use of Headings by Children for Text Search. *Canadian Journal of Behavioural Science-Revue Canadienne Des Sciences Du Comportement*, 20, 50-63.
- Kolers, P. A., Duchnicky, R. L., & Ferguson, D. C. (1981). Eye-Movement Measurement of Readability of Crt Displays. *Human Factors*, 23, 517-527.
- Kruk, R. S., & Muter, P. (1984). Reading of Continuous Text on Video Screens. *Human Factors*, 26, 339-345.
- Leger, L., Tijus, C., & Baccino, T. (2005). La discrimination visuelle et sémantique: pour la conception ergonomique du contenu de sites web. *Revue d'Interaction Homme-Machine*, 6, 81-106.
- Leger, L., Tijus, C., & Baccino, T. (2006). Spatial layout and words detection. *Travail Humain*, 69, 349-377.
- Legge, G. E., Ahn, S. J., Klitz, T. S., & Luebker, A. (1997). Psychophysics of reading-XVI. The visual span in normal and low vision. *Vision Research*, 37, 1999-2010.
- Legge, G. E., Hooven, T. A., Klitz, T. S., Mansfield, J. S., & Tjan, B. S. (2002). Mr. Chips 2002: new insights from an ideal-observer model of reading. *Vision Research*, 42, 2219-2234.
- Lemarié, J. (2006). *La compréhension des textes visuellement structurés : Le cas des énumérations*. Unpublished Thèse de doctorat, Université de Toulouse-le-Mirail, Toulouse, France.
- Lemarie, J., Eyrolle, H., & Cellier, J. M. (2008). The segmented presentation of visually structured texts: Effects on text comprehension. *Computers in Human Behavior*, 24, 888-902.
- Lemarié, J., Lorch, R. F., Eyrolle, H., & Virbel, J. (2008). SARA: A text-based and reader-based theory of text signaling. *Educational Psychologist*, 43, 1-23.
- Levy, I., Hasson, U., Avidan, G., Hendler, T., & Malach, R. (2001). Center-periphery organization of human object areas. *Nature Neuroscience*, 4, 533-539.
- Ling, J., & van Schaik, P. (2004). The effects of link format and screen location on visual search of web pages. *Ergonomics*, 47, 907-921.
- Ling, J., & van Schaik, P. (2007). The influence of line spacing and text alignment on visual search of web pages. *Displays*, 28, 60-67
- Litherland. (1993). *Speed reading for progressive adults*. Santa Barbara, CA: Fithian Press.

- Liu, L. C., & Ioannides, A. A. (2006). Spatiotemporal dynamics and connectivity pattern differences between centrally and peripherally presented faces. *Neuroimage*, *31*, 1726-1740.
- Lorch, R. F., Jr. (1989). Text-signaling devices and their effects on reading and memory processes. *Educational Psychology Review*, *1*, 209-234.
- Lorch, R. F., Jr., & Lorch, E. P. (1995). Effects of organizational signals on text-processing strategies. *Journal of Educational Psychology*, *87*, 537-544.
- Lorch, R. F., Jr., & Lorch, E. P. (1996a). Effects of headings on text recall and summarization. *Contemporary Educational Psychology*, *21*, 261-278.
- Lorch, R. F., Jr., & Lorch, E. P. (1996b). Effects of organizational signals on free recall of expository text. *Journal of Educational Psychology*, *88*, 38-48.
- Lorch, E. P., Lorch, R. F., Jr., Gretter, M. L., & Horn, D. G. (1987). On-line processing of topic structure by children and adults. *Journal of Experimental Child Psychology*, *43*, 81-95.
- Lorch, R. F., Jr., Lorch, E. P., & Inman, W. E. (1993). Effects of signaling topic structure on text recall. *Journal of Educational Psychology*, *85*, 281-290.
- Lorch, R. F., Jr., Lorch, E. P., & Matthews, P. D. (1985). On - line processing of the topic structure of a text. *Journal of Memory and Language*, *24*, 350-362.
- Lorch, R. F., Jr., Lorch, E. P., & Mogan, A. M. (1987). Task effects and individual differences in on-line processing of the topic structure of a text. *Discourse Processes*, *10*, 63-80.
- Lorch, R. F., Jr., Lorch, E. P., & Klusewitz, M. A. (1995). Effects of typographical cues on reading and recall of text. *Contemporary Educational Psychology*, *20*, 51-64.
- Lorch, R. F., Lorch, E. P., Ritchey, K., McGovern, L., & Coleman, D. (2001). Effects of headings on text summarization. *Contemporary Educational Psychology*, *26*, 171-191.
- Luc, C., & Virbel, J. (2001). Le modèle d'architecture textuelle : fondements et expérimentation. *verbum*, *23*, 103-123.
- Mayer, R. E., Dyck, J. L., & Cook, L. K. (1984). Techniques That Help Readers Build Mental Models from Scientific Text - Definitions Pretraining and Signaling. *Journal of Educational Psychology*, *76*, 1089-1105.
- McConkie, G. W., & Rayner, K. (1975). The span of the effective stimulus during a fixation in reading. *Perception & Psychophysics*, *17*, 578-586.
- McConkie, G. W., & Rayner, K. (1976). Asymetry of the perceptual span in reading. *Bulletin of the psychonomic society*, *8*, 365-368.

- McNamara, D. S., Kintsch, E., Songer, N. B., & Kintsch, W. (1996). Are good texts always better? Interactions of text coherence, background knowledge, and levels of understanding in learning from text. *Cognition and Instruction, 14*, 1-43.
- Meyer, B. J. F. (1975). *The Organisation of Prose and Its Effects on Memory*. New York: Elsevier.
- Morris, R. K., Rayner, K., & Pollatsek, A. (1990). Eye-Movement Guidance in Reading - the Role of Parafoveal Letter and Space Information. *Journal of Experimental Psychology-Human Perception and Performance, 16*, 268-281.
- Morrison, R. E. (1984). Manipulation of Stimulus Onset Delay in Reading - Evidence for Parallel Programming of Saccades. *Journal of Experimental Psychology-Human Perception and Performance, 10*, 667-682.
- Nespoulous, J. L., de Mattos Pimenta, M. A., & Virbel, J. (2002). Des objets textuels à leur traitement par le cerveau/esprit humain. In *Actes de Inscription Spatiale du Langage : Structures et Processus* (pp. 77-87). Toulouse, France: Prescott.
- Nist, S., & Hogrebe, M. (1987). The role of underlining and annotating in remembering textual information. *Reading Research and Instruction, 27*, 12-25.
- Nuthmann, A., Engbert, R., & Kliegl, R. (2005). Mislocated fixations during reading and the inverted optimal viewing position effect. *Vision Research, 45*, 2201-2217.
- Ojanpää, H., Näsänen, R., & Kojo, I. (2002). Eye movements in the visual search of word lists. *Vision Research, 42*, 1499-1512.
- 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. M. (1992). Optimal Viewing Position Effect in Word Recognition - a Challenge to Current Theory. *Journal of Experimental Psychology-Human Perception and Performance, 18*, 185-197.
- O'Regan, J. K., & Lévy-schoen, A. (1987). Eye-Movement Strategy and Tactics in Word Recognition and Reading. *Attention and Performance, 3*, 363-383.
- O'Regan, J. K., Lévy-schoen, A., & Jacobs, A. M. (1983). The Effect of Visibility on Eye-Movement Parameters in Reading. *Perception & Psychophysics, 34*, 457-464.
- Osaka, N. (1992). Size of saccade and fixation duration of eye movements during reading: Psychophysics of Japanese text processing. *Journal of the Optical Society of America, 9*, 5-13.

- Osaka, N., & Oda, K. (1991). Effective visual field size necessary for vertical reading during Japanese text processing. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 29, 345-347.
- Otter, M., & Johnson, H. (2000). Lost in hyperspace: metrics and mental models. *Interacting with Computers*, 13, 1-40.
- Pollatsek, A., Bolozky, S., Well, A. D., & Rayner, K. (1981). Asymmetries in the Perceptual Span for Israeli Readers. *Brain and Language*, 14, 174-180.
- Pollatsek, A., Raney, G. E., Lagasse, L., & Rayner, K. (1993). The use of information below fixation in reading and in visual search. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 47, 179-200.
- Pollatsek, A., Rayner, K., & Collins, W. E. (1984). Integrating Pictorial Information across Eye-Movements. *Journal of Experimental Psychology-General*, 113, 426-442.
- Pollatsek, A., Reichle, E. D., & Rayner, K. (2006b). Attention to one word at a time in reading is still a viable hypothesis: Rejoinder to Inhoff, Radach, and Eiter (2006). *Journal of Experimental Psychology-Human Perception and Performance*, 32, 1496-1500.
- Pollatsek, A., Reichle, E. D., & Rayner, K. (2006c). Serial processing is consistent with the time course of linguistic information extraction from consecutive words during eye fixations in reading: A response to Inhoff, Eiter, and Radach (2005). *Journal of Experimental Psychology-Human Perception and Performance*, 32, 1485-1489.
- Pollatsek, A., Reichle, E. D., & Rayner, K. (2006a). Tests of the E-Z Reader model: Exploring the interface between cognition and eye-movement control. *Cognitive Psychology*, 52, 1-56.
- Pomplun, M., Reingold, E. M., & Shen, J. Y. (2001). Investigating the visual span in comparative search: the effects of task difficulty and divided attention. *Cognition*, 81, B57-B67.
- Posner, M. I., Snyder, C. R. R., & Davidson, B. J. (1980). Attention and the Detection of Signals. *Journal of Experimental Psychology-General*, 109, 160-174.
- Prinz, W. (1984). Attention and sensitivity in visual search. *Psychological Research*, 45, 355-366.
- Rayner, K. (1975). Perceptual Span and Peripheral Cues in Reading. *Cognitive Psychology*, 7, 65-81.
- Rayner, K. (1979). Eye Guidance in Reading - Fixation Locations within Words. *Perception*, 8, 21-30.

- Rayner, K. (1986). Eye movements and the perceptual span in beginning and skilled readers. *Journal of Experimental Child Psychology, 41*, 211-236.
- Rayner, K. (1998). Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychological Bulletin, 124*, 372-422.
- Rayner, K., & Bertera, J. H. (1979). Reading without a Fovea. *Science, 206*, 468-469.
- Rayner, K., & Duffy, S. A. (1986). Lexical Complexity and Fixation Times in Reading - Effects of Word-Frequency, Verb Complexity, and Lexical Ambiguity. *Memory & Cognition, 14*, 191-201.
- Rayner, K., & Fischer, M. H. (1987a). Eye movements and the perceptual span during visual search. In J. K. O'Regan & A. Levyschoen (Eds.), *Eye movements: from physiology to cognition* (pp. 293-302). Amsterdam: North-Holland.
- Rayner, K., & Fisher, D. L. (1987b). Letter Processing During Eye Fixations in Visual-Search. *Perception & Psychophysics, 42*, 87-100.
- Rayner, K., Inhoff, A. W., Morrison, R., Slowiaczek, M. L., & Bertera, J. H. (1981). Masking of foveal and parafoveal vision during eye fixations in reading. *Journal of experimental Psychology: Human Perception and Performance, 7*, 167-179.
- Rayner, K., & Liversedge, S. (2004). Visual and linguistic processing during eye fixations in reading. In J. M. Henderson & F. Ferreira (Eds.), *The interface of language, vision, and action: Eye movements and the visual world* (pp. 59-104). New York: Psychology Press.
- Rayner, K., & Pollatsek, A. (1989). *The psychology of reading*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Rayner, K., Pollatsek, A., Drieghe, D., Slattery, T. J., & Reichle, E. D. (2007). Tracking the mind during reading via eye movements: Comments on Kliegl, Nuthmann, and Engbert (2006). *Journal of Experimental Psychology-General, 136*, 520-529.
- Rayner, K., Reichle, E. D., Stroud, M. J., Williams, C. C., & Pollatsek, A. (2006). The effect of word frequency, word predictability, and font difficulty on the eye movements of young and older readers. *Psychology and Aging, 21*, 448-465.
- Rayner, K., Warren, T., Juhasz, B. J., & Liversedge, S. P. (2004). The effect of plausibility on eye movements in reading. *Journal of Experimental Psychology-Learning Memory and Cognition, 30*, 1290-1301.
- Rayner, K., Well, A. D., & Pollatsek, A. (1980). Asymmetry of the Effective Visual-Field in Reading. *Perception & Psychophysics, 27*, 537-544.

- Rayner, K., Well, A. D., Pollatsek, A., & Bertera, J. H. (1982). The availability of useful information to the right of fixation in reading. *Perception & Psychophysics*, *31*, 537-550.
- Reichle, E. D., Pollatsek, A., Fisher, D. L., & Rayner, K. (1998). Toward a model of eye movement control in reading. *Psychological Review*, *105*, 125-157.
- Reichle, E. D., Pollatsek, A., & Rayner, K. (2006). E-Z Reader: A cognitive-control, serial-attention model of eye-movement behavior during reading. *Cognitive Systems Research*, *7*, 4-22.
- Reichle, E. D., Rayner, K., & Pollatsek, A. (1999). Eye movement control in reading: accounting for initial fixation locations and refixations within the E-Z Reader model. *Vision Research*, *39*, 4403-4411.
- 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*, *26*, 445-526.
- Reilly, R. G., & Radach, R. (2006). Some empirical tests of an interactive activation model of eye movement control in reading. *Cognitive Systems Research*, *7*, 34-55.
- Reingold, E. M., Charness, N., Pomplun, M., & Stampe, D. M. (2001). Visual span in expert chess players: Evidence from eye movements. *Psychological Science*, *12*, 48-55.
- Roenker, D. L., Thompson, C. P., & Brown, S. C. (1971). Comparison of Measures for Estimation of Clustering in Free Recall. *Psychological Bulletin*, *76*, 45-48.
- Rouet, J. F. (2003). What was I looking for? The influence of task specificity and prior knowledge on students' search strategies in hypertext. *Interacting with Computers*, *15*, 409-428.
- Rouet, J. F., Vidal-Abarca, E., Erboul, A. B., & Millogo, V. (2001). Effects of information search tasks on the comprehension of instructional text. *Discourse Processes*, *31*, 163-186.
- Rousselet, G. A., Joubert, O. R., & Fabre-Thorpe, M. (2005). How long to get to the "gist" of real-world natural scenes? *Visual Cognition*, *12*(6), 852-877.
- Ruiz-Primo, M. A., Schultz, S. E., Li, M., & Shavelson, R. J. (2001). Comparison of the reliability and validity of scores from two concept-mapping techniques. *Journal of Research in Science Teaching*, *38*, 260-278.
- Saida, S., & Ikeda, M. (1979). Useful visual field size for pattern perception. *Perception & Psychophysics*, *25*, 119-125.

- Sanchez, R. P., Lorch, E. P., & Lorch, R. F., Jr. (2001). Effects of headings on text processing strategies. *Contemporary Educational Psychology*, *26*, 418-428.
- Sanocki, T. (2003). Representation and perception of scenic layout. *Cognitive Psychology*, *47*(1), 43-86.
- Sanocki, T., & Epstein, W. (1997). Priming spatial layout of scenes. *Psychological Science*, *8*, 374-378.
- Schmid, S. (2001). *Représentation organisationnelle et compréhension : rôle de la mise en forme matérielle dans la lecture*. Unpublished Thèse de doctorat, Université de Nice Sophia Antipolis, Nice, France.
- Schmid, S., & Baccino, T. (2001). Stratégies de lecture dans les textes à consignes. *Langages*, *141*, 105-124.
- Schmid, S., & Baccino, T. (2002). Perspective-shift effect and text format: An eye-tracking study. *Current Psychology Letters: Behaviour, Brain & Cognition*, *9*, 73-87.
- Stark, H. A. (1988). What Do Paragraph Markings Do. *Discourse Processes*, *11*, 275-303.
- Surber, J. R., & Schroeder, M. (2007). Effect of prior domain knowledge and headings on processing of informative text. *Contemporary Educational Psychology*, *32*, 485- 498.
- Tinker, M. (1963). *Legibility of print*. Ames, IA: Iowa State University Press.
- Treisman, A. M., & Gelade, G. (1980). Feature-Integration Theory of Attention. *Cognitive Psychology*, *12*, 97-136.
- Underwood, N. R., & McConkie, G. W. (1985). Perceptual span for letter distinction during reading. *Reading Research Quarterly*, *20*, 153-162.
- Van Dijk, T. A., & Kintsch, W. (1983). *Strategies of Discourse Comprehension*. New York: Academic Press.
- Van Overschelde, J. P., & Healy, A. F. (2005). A blank look in reading: The effect of blank space on the identification of letters and words during reading. *Experimental Psychology*, *52*, 213-223.
- Vauras, M., Hyönä, J., & Niemi, P. (1992). Comprehending coherent and incoherent texts: Evidence from eye movement patterns and recall performance. *Journal of Research in Reading*, *15*, 39-54.
- 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*, 3513-3533.

- Weger, U. W., & Inhoff, A. W. (2006). Attention and eye movements in reading - Inhibition of return predicts the size of regressive saccades. *Psychological Science, 17*, 187-191.
- Weger, U. W., & Inhoff, A. W. (2007). Long-range regressions to previously read words. are guided by spatial and verbal memory. *Memory & Cognition, 35*, 1293-1306.
- White, S. J., Rayner, K., & Liversedge, S. P. (2005). Eye movements and the modulation of parafoveal processing by foveal processing difficulty: A reexamination. *Psychonomic Bulletin & Review, 12*, 891-896.
- Wiley, J., & Rayner, K. (2000). Effects of titles on the processing of text and lexically ambiguous words: Evidence from eye movements. *Memory & Cognition, 28*, 1011-1021.
- Wolfe, J., & Cave, K. (1990). Deploying visual attention: The guided search model. In A. Blake & T. Troscianko (Eds.), *AI and the eye* (pp. 79-103). Chichester, England: Wiley.
- Wolverton, G. S., & Zola, D. (1983). The temporal characteristics of visual information extraction during reading. In K. Rayner (Ed.), *Eye movements in reading: Perceptual and language processes* (pp. 41-52). New York: Academic Press.
- Yang, S. N., & McConkie, G. W. (2001). Eye movements during reading: a theory of saccade initiation times. *Vision Research, 41*, 3567-3585.
- Yarbus, A. L. (1967). *Eye movements and vision*. New York: Plenum.
- Zelinsky, G. J., & Sheinberg, D. L. (1997). Eye movements during parallel-serial visual search. *Journal of Experimental Psychology-Human Perception and Performance, 23*, 244-262.

Annexes

Annexe 1 : Texte expérimental traitant des enjeux énergétiques utilisé dans les expériences 1 et 2.....	117
Annexe 2 : Texte expérimental traitant des sapeurs-pompiers utilisé dans les expériences 1 et 2.....	121
Annexe 3 : Texte d'entraînement utilisé dans l'expérience 1.....	125
Annexe 4 : Analyse des textes expérimentaux utilisés dans l'expérience 1 et 2 en unités d'idées	128
Annexe 5 : Texte d'entraînement utilisé dans l'expérience 2.....	132
Annexe 6 : Exemple de notation de la tâche de rappel de l'organisation hiérarchique.....	135
Annexe 7 : Trois versions du texte expérimental sur les espèces animales utilisé dans l'expérience 3.....	137
Annexe 8 : Trois versions du texte expérimental sur les questions énergétiques utilisé dans l'expérience 3.....	159
Annexe 9 : Questions utilisées dans l'expérience 3 pour les textes expérimentaux.....	181
Annexe 10 : Trois versions du texte d'entraînement utilisé dans l'expérience 3.....	182
Annexe 11 : Questions utilisées dans l'expérience 3 pour le texte d'entraînement.....	198

Annexe 1 : Texte expérimental traitant des enjeux énergétiques utilisé dans les expériences 1 et 2

PROBLEMES D'ENERGIE ET SOLUTIONS

Depuis la révolution industrielle, les pays industrialisés sont devenus de plus en plus dépendants de la production d'énergie pour maintenir leur économie et leur niveau de vie. Les sources primaires d'énergie sont le pétrole, le charbon, le gaz naturel, et depuis peu le nucléaire. Nous sommes à présent confrontés à des problèmes graves créés par notre dépendance au pétrole, au charbon, au gaz naturel et au nucléaire.

I. PROBLEMES D'ENERGIE

Les combustibles fossiles que sont le charbon, le pétrole et le gaz partagent plusieurs caractéristiques importantes qui ont contribué à les établir comme sources privilégiées d'énergie. Il s'agit de ressources naturelles relativement abondantes. Elles sont transportables. La technologie de conversion est largement accessible et relativement peu coûteuse. Depuis le début de son développement dans les années cinquante, le nucléaire est devenu une source importante d'énergie, pour les mêmes raisons qui font que les combustibles fossiles tiennent une place importante. Ces dernières années, cependant, nous avons été témoins de certaines des limitations des combustibles fossiles et du nucléaire.

A. Des ressources de combustibles en diminution

Le charbon, le pétrole, le gaz et les minerais radioactifs sont des ressources naturelles abondantes. Cependant, elles ne sont pas inépuisables et les réserves sont donc limitées. Etant donné que la demande en énergie augmente dans le monde entier, nous approchons rapidement du moment où ces ressources en combustibles seront épuisées. Nous commençons déjà à ressentir les effets de la disponibilité décroissante des combustibles fossiles.

1. Des méthodes de production dangereuses

L'une des implications de la disponibilité décroissante des combustibles fossiles est que les méthodes de production deviennent de plus en plus dangereuses. Les réserves de charbon, de pétrole et de gaz naturel ne sont plus aussi accessibles qu'elles ne l'étaient. Les filons les plus accessibles sont épuisés depuis longtemps et les mineurs doivent forer encore plus profondément pour atteindre les réserves. Faire creuser des galeries plus profondes et plus vastes signifie exposer les mineurs à un danger plus grand. Pour des raisons similaires, les forages de pétrole et de gaz sont devenus de plus en plus dangereux.

2. Des coûts de plus en plus élevés

Les coûts de l'énergie basée sur les combustibles fossiles et le nucléaire sont en augmentation. Dans ce marché concurrentiel, la disponibilité décroissante du charbon, du pétrole et du gaz naturel met les vendeurs en position de force. De plus, l'accessibilité de moins en moins évidente des combustibles fossiles rend la production d'énergie plus coûteuse. Ceci résulte à la fois du coût élevé pour accéder à des endroits reculés pour le forage et l'extraction, et de la nécessité d'utiliser des technologies plus perfectionnées.

B. Les dégâts causés à l'environnement

L'utilisation massive des combustibles fossiles et du nucléaire menace notre environnement de nombreuses façons. Nous commençons juste à comprendre l'étendue des problèmes environnementaux que nous avons générés. Ceux-ci sont multiples et probablement irréversibles pour la plupart.

1. Les marées noires

Les marées noires peuvent avoir des effets dévastateurs sur l'écologie des océans et des rivières. Il est si fréquent que des pétroliers géants endommagés déversent du pétrole qu'on en vient presque à prendre cela pour un fait banal. Cependant, l'accident de l'Exxon Valdez en Alaska, par exemple, montre de manière tragique à quel point les marées noires peuvent être destructrices et coûteuses.

2. Le réchauffement de la planète

Le réchauffement de la planète causé par l'effet de serre est peut-être la plus grande menace de notre environnement. L'effet de serre est causé par certains gaz, particulièrement le dioxyde de carbone, qui concentre de la chaleur qui devrait normalement se diffuser dans l'atmosphère. La quantité de dioxyde de carbone présent dans l'atmosphère a augmenté de vingt trois pourcent depuis la révolution industrielle et continue d'augmenter approximativement d'un pourcent chaque année.

3. Les pluies acides

Les pluies acides ont des effets dévastateurs sur l'écologie des lacs. La combustion du pétrole dégage des particules d'azote et de sulfate dans l'atmosphère. Ces particules retombent ensuite sur la terre sous forme de pluies acides. Une étude sur les lacs des chaînes de montagne Adirondacks, Poconos et Catskill aux Etats-Unis a montré que les pluies acides ont causé la perte de quarante pourcent des insectes, cinquante pourcent des mollusques et vingt pourcent des crustacés de ces lacs.

C. Les problèmes de santé

Dans le pire scénario qu'on puisse imaginer, notre dépendance aux combustibles fossiles et nucléaires menace notre survie sur la planète. Les dégâts causés aux éléments-clés de la chaîne alimentaire, les modifications de la composition de l'atmosphère dues à la pollution, les changements catastrophiques du climat, et d'autres conséquences de notre utilisation de l'énergie pourraient certainement entraîner des changements majeurs de la vie telle que nous la connaissons. On peut relever de graves problèmes de santé liés à l'utilisation des combustibles fossiles et nucléaires par l'homme.

1. Les problèmes respiratoires et cardiaques

On sait que la pollution de l'air causée par le fait de brûler les combustibles fossiles provoque des maladies respiratoires et cardiaques. Les poisons et les substances irritantes que cela répand dans l'atmosphère attaquent les tissus pulmonaires et peuvent les détériorer de manière irréversible. La pollution de l'air représente une menace grave pour la santé de ceux qui souffrent de maladies respiratoires ou cardiaques.

2. Le cancer et les effets génétiques

Le cancer et les menaces génétiques du nucléaire sont bien connus de la plupart des gens. Mais on sait moins que brûler des combustibles fossiles a aussi des effets cancérigènes. En fait, les combustibles fossiles sont sans aucun doute responsables de plus de cas de cancers et de défauts génétiques que les combustibles nucléaires.

II. ENERGIE : QUELLES SOLUTIONS ?

On s'est appuyé sur les combustibles fossiles depuis la Révolution Industrielle et sur le nucléaire depuis les années cinquante. On est maintenant trop conscient des limitations de ces sources d'énergie. Dans les pages qui suivent, nous allons examiner des approches de résolution des problèmes d'énergie.

A. L'économie de l'énergie

Depuis l'embargo du Moyen-Orient sur le pétrole, une révolution silencieuse mais spectaculaire a traversé les pays industrialisés. En fait, le monde a économisé beaucoup plus d'énergie depuis 1973 qu'il n'en a obtenu de toutes les sources nouvelles. Pourtant quand les experts font des projections pour le XXIème siècle, ils prévoient un besoin encore plus fort d'économiser l'énergie. Une multitude de stratégies peuvent être employées pour entraîner une économie plus accrue des ressources énergétiques existantes.

1. La plantation d'arbres

Les arbres n'offrent pas seulement de l'ombre à ce qu'ils abritent, ils fournissent aussi un refroidissement quand ils transpirent. Cet effet rafraîchissant se révèle particulièrement utile pour limiter le développement de zones de chaleur urbaines. Ces zones sont des aires à l'intérieur des villes où l'asphalte et les surfaces à revêtement foncé provoquent des accumulations de chaleur. Elles peuvent faire augmenter l'utilisation d'air conditionné. Le fait de planter simplement trois arbres près de chaque bâtiment exposé pourrait réduire de beaucoup l'utilisation d'air conditionné.

2. Les taxes à la consommation

Beaucoup de pays ont adopté une politique d'augmentation du prix de l'énergie par des taxes. Le Danemark, par exemple, applique une taxe de cinquante centimes par litre d'essence, dans le but d'en dissuader la consommation. A l'inverse d'autres pays comme les Etats-Unis fixent des taux de taxation sur l'essence très faibles qui ne servent qu'à l'entretien et à la construction des routes.

3. L'utilisation de l'électronique

Aujourd'hui la plupart des installations électriques sont conçues pour être soit complètement en marche, soit tout à fait arrêtées, ceci malgré le fait que ces installations n'ont souvent besoin pour fonctionner que d'une fraction de cette énergie. L'électronique permet une variation continue du volume d'énergie attribué à un appareil. Les variateurs de lumière en sont un exemple familier. Le principe repose sur une meilleure répartition de l'énergie selon les besoins variables des appareils.

B. Le développement de sources énergétiques alternatives

Il y a beaucoup d'alternatives à l'utilisation des combustibles fossiles et du nucléaire qui n'ont pas encore été exploitées parce que les combustibles fossiles et nucléaires sont moins coûteux et plus largement disponibles. Il est clair que nous devons réduire notre dépendance aux sources traditionnelles d'énergie.

1. L'énergie océano-thermique

Une centrale basée sur l'énergie océano-thermique est en fait un grand moteur marchant à la chaleur, construit soit sur une plate-forme sur l'océan, soit sur la côte. La centrale fonctionne en extrayant une partie de l'énergie solaire emmagasinée à la surface de l'eau des océans tropicaux. Certaines centrales sont conçues pour exploiter les quarante degrés de température de différence entre la surface de l'océan et les courants arctiques froids passant bien en dessous.

2. L'énergie géo-thermique

L'énergie géo-thermique est dérivée de la chaleur naturelle de la terre, dont le centre en fusion peut atteindre, selon des estimations, jusqu'à 7200 cents degrés. Actuellement les formes les plus aisément accessibles d'énergie géo-thermique sont les poches d'eau chaude et de vapeur retenues près de la surface. Ces réservoirs se trouvent dans des régions qui ont eu une activité volcanique. Fin du texte.

Annexe 2 : Texte expérimental traitant des sapeurs-pompiers utilisé dans les expériences 1 et 2

LUTTE CONTRE LES INCENDIES ET PREVENTION

Les incendies représentent une menace constante pour les personnes et les biens. Lorsqu'il est incontrôlé, un incendie peut être très meurtrier. Plus de milles personnes périrent lorsque les flammes balayèrent la ville de Pestigo aux Etats-Unis en 1871. Le feu peut aussi être très destructeur. Vingt huit mille immeubles furent brûlés à San Francisco après un tremblement de terre en 1906.

I. LA LUTTE CONTRE LES INCENDIES

La lutte contre les incendies réfère à l'activité dont le but est de limiter la propagation du feu et de l'éteindre, activité exécutée par des individus spécialement entraînés, les sapeurs-pompiers. La lutte contre le feu peut sembler être une activité désorganisée, mais elle requiert une attaque planifiée par des hommes entraînés, opérant comme une équipe sous la direction d'officiers expérimentés.

A. Le déroulement d'une intervention

Quelque soient les circonstances, le déroulement d'une intervention sur un incendie est presque toujours identique. Il se décompose en plusieurs phases successives. Une intervention classique comprend le départ éclair de la caserne, le déplacement sur les lieux du sinistre, le sauvetage des personnes en danger, la recherche du lieu précis de départ de feu, l'arrêt de la propagation du feu c'est-à-dire sa maîtrise, son extinction, la recherche et le traitement de sources probables de reprise du feu et le retour à la caserne pour pouvoir répondre à une nouvelle alerte. Certaines de ces phases sont cruciales et portent des noms spécifiques dans le jargon des sapeurs-pompiers.

1. La reconnaissance

La phase dite de reconnaissance débute dès l'arrivée des sapeurs-pompiers sur le site. Cette phase est un bilan de situation dont découle la stratégie mise en œuvre dans les phases suivantes. C'est une phase importante car si elle est mal conduite, la situation peut rapidement se dégrader. Pendant cette phase le chef officier fait une reconnaissance rapide du site accompagné par ses assistants. Il détermine l'origine du feu, repère les risques spécifiques (alimentations en gaz, éventuels stockages de produits inflammables) et donne ses ordres pour l'intervention.

2. L'inspection

Lorsqu'il ne reste plus aucune flamme visible, les sapeurs-pompiers commencent le travail appelé inspection. Les équipes sillonnent les lieux pour déterminer avec certitude que le feu est totalement éteint. Quelques hommes vérifient que le feu ne s'est pas étendu au-delà des murs de l'immeuble, à travers des fissures ou des canalisations. En effet, un incendie laisse toujours des braises ou des objets chauffés qui pourraient faire reprendre le feu.

B. Des véhicules spécifiques

Selon les circonstances de l'incendie, les véhicules utilisés par les sapeurs-pompiers sont très différents. A chaque type de situation correspond un véhicule spécifique et lors d'une alerte, les sapeurs-pompiers doivent rapidement identifier le type d'incendie auquel ils sont confrontés pour pouvoir déterminer les véhicules adéquats à mobiliser. Les éléments à prendre en compte sont par exemple la localisation du sinistre, l'accessibilité ou non d'une alimentation en eau, les caractéristiques du lieu (l'architecture du bâtiment en milieu urbain ou le relief en forêt) ou encore les conditions climatiques.

1. Le bombardier d'eau

Le bombardier d'eau est un avion pouvant larguer une grande quantité d'eau sur un feu de forêt étendu. Il est envoyé en priorité sur les feux de forêt à propagation rapide, donc avec un vent fort. Son utilisation ne peut se faire que dans des zones sans personnel, le largage d'une dizaine de tonnes d'eau pouvant causer de graves blessures. Il y a donc une coordination radio indispensable à opérer entre les équipes au sol et les équipes aériennes.

2. La grande échelle

Ce véhicule permet, dans le cas d'incendie dans des immeubles de grande hauteur, d'arroser par l'extérieur ou d'acheminer des sapeurs-pompiers directement au niveau désiré. Il est constitué d'un châssis massif sur lequel est montée une échelle escamotable pouvant atteindre une très grande hauteur. Des vérins hydrauliques placés de chaque côté stabilisent le véhicule et l'empêchent de basculer lorsque l'échelle est déployée.

3. Le bateau pompe

Ce type d'engin est utilisé pour combattre les incendies d'embarcations en mer, ou pour assister des équipes terrestres lorsque le sinistre se trouve dans un port ou à proximité d'un fleuve. Il est doté de puissantes pompes qui permettent de fournir une grande quantité d'eau. Certains bateaux-pompes de taille plus modeste sont conçus pour naviguer dans des eaux peu profondes. Ils sont adaptés aux incendies de petite taille et au travail de sauvetage.

C. Les missions du sapeur-pompier

Lorsque l'on parle de sapeurs-pompiers, la première idée qui vient en tête est soldat du feu. Pourtant, la lutte contre les incendies ne représente qu'une de leurs missions, et cette activité est d'ailleurs en régression en raison de l'amélioration des programmes de prévention.

1. Les catastrophes naturelles

Les catastrophes naturelles sont des événements climatiques ou sismiques majeurs qui prennent diverses formes : séismes, éruptions volcaniques, cyclones, inondations, avalanches, graves intempéries. Les catastrophes naturelles recouvrant des événements de nature extrêmement diverse, l'action des sapeurs-pompiers peut recouvrir le transport de personnes, le ravitaillement, le contrôle de la circulation, la prévention du pillage ou encore la construction de digues en cas de crues.

2. Les accidents de la route

S'il y a des blessés, les sapeurs-pompiers interviennent sur les accidents de la route. Dans ce cas, ils balisent le lieu de l'accident afin d'éviter une collision avec un nouveau véhicule. Puis un sapeur-pompier essaie de se faufiler dans le véhicule afin de rassurer et d'effectuer les premiers soins, pour enfin dégager les blessés, la déformation de la tôle pouvant faire obstacle à leur sortie.

II. LA PREVENTION DES INCENDIES

L'actualité nous rappelle sans cesse que les incendies sont un fléau aux conséquences dramatiques dont il est indispensable de se prémunir. La prévention des incendies réfère aux moyens mis en œuvre pour réduire les risques d'incendie et pour limiter leur gravité. Nous allons maintenant évoquer différents moyens mis en place par les pouvoirs publics pour améliorer la prévention des incendies.

A. La sensibilisation du public

Etant donné que les individus causent et pourraient prévenir pratiquement tous les incendies, la sensibilisation aux différents risques d'incendie est une composante vitale des programmes de prévention. Les enfants sont sensibilisés dans les écoles, des visites de casernes sont organisées, tandis que les adultes sont sensibilisés par le biais de campagnes médiatiques ou de formations sur leur lieu de travail.

1. Les risques domestiques

Saturer une installation électrique, jouer avec des allumettes et stocker des liquides inflammables sont des exemples d'activité à risque qu'il faut éviter. Les vieux meubles et les détritiques ne devraient pas être stockés en masse dans un grenier ou une cave. Des liquides comme l'essence ou la peinture devraient être stockés dans des contenants hermétiquement clos et à l'écart de toute source de chaleur.

2. Les risques industriels

Le feu est impliqué en milieu industriel dans la fonte des métaux, l'élaboration de produits chimiques et la génération d'électricité. Les fours, les brûleurs et tous les appareils utilisés dans ces activités doivent être manipulés dans le respect des consignes de sécurité. Les employés sont non seulement sensibilisés mais aussi formés à une utilisation sans risque de ces appareillages et sont encouragés à rendre compte du moindre problème qui pourrait être à l'origine d'un départ de feu.

3. Les risques forestiers

Chaque année des milliers d'hectares sont dévastés par les flammes, en dépit d'une stabilisation encourageante du nombre annuel de départs de feux. En plus de la sécheresse, principale cause des incendies, la négligence humaine est la cause directe de la récente hausse du nombre de feux de forêt à travers l'Europe. Il est ainsi recommandé aux promeneurs de ne pas allumer de feu en forêt et il est conseillé aux riverains à proximité des forêts de débroussailler autour de leur maison.

B. Les normes de sécurité

Tout bâtiment destiné à accueillir du public, comme un restaurant ou un cinéma par exemple, est soumis au respect de normes strictes spécifiées par la législation française. Ces normes de sécurité extrêmement contraignantes sont parfois un véritable casse-tête pour les entrepreneurs et les responsables d'établissement mais elles permettent indéniablement de sauver des vies.

1. Les salles de spectacle

Les salles de spectacle sont destinées à accueillir une masse importante de personnes. Des normes spécifiques veillent à ce que la recherche de la rentabilité maximale dans la construction du bâtiment ne se fasse pas au détriment de la sécurité des usagers. La réglementation fixe par exemple, selon la capacité d'accueil du bâtiment, la distance maximale que le public doit parcourir à partir d'un point quelconque de l'établissement, pour atteindre une sortie protégée donnant sur l'extérieur.

2. Les immeubles d'habitation

La réglementation destinée aux immeubles d'habitation concerne particulièrement les immeubles de grande hauteur. En effet plus le bâtiment comporte de niveaux, plus l'évacuation du public et l'accessibilité des locaux par les équipes de secours est problématique. C'est pourquoi, par exemple, un escalier doit être rapidement accessible de la porte d'entrée de chaque appartement. Fin du texte.

Annexe 3 : Texte d'entraînement utilisé dans l'expérience 1

LE BRÉSIL

I) Le géant de l'Amérique latine

Grand pays tropical, le Brésil a été conquis par les Portugais à partir du littoral, aujourd'hui très urbanisé. La population brésilienne est métissée.

A) Un pays vaste

15 fois plus grand que la France, le Brésil est situé dans la zone chaude : au nord-ouest, l'Amazonie équatoriale est le domaine de la forêt dense. Le littoral est tropical, sauf dans le Nordeste où le climat est aride.

B) Un littoral peuplé

Les 170 millions d'habitants sont très inégalement répartis : comme les migrants sont arrivés par l'Atlantique, les densités sont fortes sur le littoral où se concentrent les villes. L'intérieur est presque vide, à cause notamment du climat équatorial, propice aux insectes et aux maladies.

C) Une population métissée

Suite à la colonisation du Portugal au XVI^e siècle, le Brésil est le seul pays d'Amérique latine où l'on parle le portugais. Il y a eu ensuite de nombreux métissages entre les Indiens indigènes (qui étaient là en premier), les Portugais et les esclaves noirs que les propriétaires de terres ont fait venir jusqu'au XIX^e siècle pour travailler le sol. La population a beaucoup augmenté et rajeuni depuis 1950, mais la natalité a maintenant baissé.

II) Une puissance économique

Dixième puissance industrielle du monde, le Brésil fabrique de plus en plus de biens industriels. Il exporte de nombreux produits agricoles tropicaux.

A) Une puissance agricole

Le Brésil exporte de nombreux produits agricoles : sur le littoral, de grandes plantations modernes font pousser de la canne à sucre, du café, du cacao, des oranges et du soja. A l'intérieur, de grands domaines sont consacrés à l'élevage de bœufs.

B) Les problèmes liés à la terre

Les paysans manquent souvent de terres à travailler. Les conflits pour la terre sont parfois violents, la réforme agraire est lente à se mettre en place. L'exode rural conduit les paysans pauvres dans les favelas des grandes villes.

C) Industries et multinationales

Le Brésil est la dixième puissance industrielle du monde. Les premières industries ont été créées dans les années 1930 par les riches propriétaires de terres. Puis l'Etat a créé les industries de base et d'armement. Depuis les années 1970, des multinationales américaines et européennes se sont installées et produisent des automobiles (les Coccinelles), des avions, des vêtements, etc.

III) Une difficile maîtrise de l'espace

Le contraste est grand entre le littoral densément urbanisé et l'Amazonie. Pour conquérir l'Ouest, l'Etat a créé une nouvelle capitale (1960), Brasilia, et les routes amazoniennes.

A) Une population essentiellement urbaine

Les trois quarts des Brésiliens vivent aujourd'hui en ville, notamment dans le Sudeste. La population urbaine a explosé à cause des nombreuses naissances et de l'exode rural. Avec 16 et 12 millions d'habitants, Sao Paulo et Rio de Janeiro font partie des plus grandes métropoles mondiales. Le contraste est grand entre le centre moderne, les luxueuses villas et les favelas, quartiers de cabanes construites sur les pentes ou les zones inondables. Mais les conditions de vie dans ces bidonvilles s'améliorent peu à peu.

B) La conquête de nouvelles terres

Le territoire brésilien est si vaste qu'il reste encore des terres à conquérir. Le premier pas de cette avancée vers l'ouest a été la fondation de la nouvelle capitale, Brasilia, en 1957. Puis, la création de routes transamazoniennes a ouvert des fronts pionniers : l'Etat a proposé aux paysans pauvres du Nordeste d'aller défricher la forêt pour obtenir des terres. Mais le sol étant fragile, les récoltes ne donnent plus rien au bout de 2 ou 3 ans et les paysans doivent aller plus loin ou se mettre à travailler dans les plantations, les mines de fer ou les exploitations de bois. Fin du texte.

Annexe 4 : Analyse des textes expérimentaux en unités d'idées

Texte 'Problèmes d'énergie et solutions'

- 1/ Les méthodes de production sont dangereuses.
- 2/ La disponibilité décroissante des combustibles fossiles est la cause de la dangerosité des méthodes de production.
- 3/ Les réserves de charbon sont moins accessibles qu'auparavant.
- 4/ Les réserves de pétrole sont moins accessibles qu'auparavant.
- 5/ Les réserves de gaz naturel sont moins accessibles qu'auparavant.
- 6/ Les filons les plus accessibles sont épuisés depuis longtemps
- 7/ Les mineurs doivent forer plus profondément pour atteindre les réserves.
- 8/ Les mineurs sont exposés à un danger plus grand.
- 9/ Les mineurs doivent creuser des galeries plus profondes et plus vastes.
- 10/ Les forages de pétrole sont devenus de plus en plus dangereux.
- 11/ Les forages de gaz sont devenus de plus en plus dangereux.
- 12/ Les mêmes raisons font que ces différents forages sont devenus de plus en plus dangereux.
- 13/ Le coût des énergies est de plus en plus élevé.
- 14/ Les coûts de l'énergie basée sur les combustibles fossiles sont en augmentation.
- 15/ Les coûts de l'énergie basée sur le nucléaire sont en augmentation.
- 16/ Les vendeurs en position de force à cause de la disponibilité décroissante des combustibles fossiles.
- 17/ Les vendeurs en position de force à cause de la concurrence du marché.
- 18/ La production d'énergie est plus coûteuse.
- 19/ Ceci est dû à l'accessibilité de moins en moins évidente des combustibles fossiles.
- 20/ Accéder à des endroits reculés pour le forage et l'extraction entraîne un coût élevé.
- 21/ Utiliser des technologies plus perfectionnées entraîne un coût élevé.
- 22/ On observe des marées noires.
- 23/ Les marées noires peuvent avoir des effets dévastateurs sur l'écologie des océans
- 24/ Les marées noires peuvent avoir des effets dévastateurs sur l'écologie des rivières.
- 25/ Il est fréquent que des pétroliers géants endommagés déversent du pétrole.
- 26/ Les marées noires sont presque considérées comme un fait banal.
- 27/ les marées noires peuvent être destructrices et coûteuses.
- 28/ L'accident de l'Exxon Valdez en Alaska en est un exemple.
- 29/ On observe un réchauffement de la planète.
- 30/ L'effet de serre est la cause du réchauffement de la planète.
- 31/ Le réchauffement de la planète est peut-être la plus grande menace de notre environnement.
- 32/ L'effet de serre est causé par certains gaz comme le dioxyde de carbone.
- 33/ Le dioxyde de carbone concentre de la chaleur.
- 34/ La chaleur devrait normalement se diffuser dans l'atmosphère.
- 35/ La quantité de dioxyde de carbone présent dans l'atmosphère a augmenté de vingt trois pourcent depuis la révolution industrielle.
- 36/ La quantité de dioxyde de carbone présent dans l'atmosphère continue d'augmenter approximativement d'un pourcent chaque année.
- 37/ On observe des pluies acides.
- 38/ Les pluies acides ont des effets dévastateurs sur l'écologie des lacs.
- 39/ La combustion du pétrole dégage des particules d'azote dans l'atmosphère.
- 40/ La combustion du pétrole dégage des particules de sulfate dans l'atmosphère.
- 41/ Ces particules retombent sur la terre sous forme de pluies acides.
- 42/ Une étude sur les lacs des chaînes de montagne Adirondacks, Poconos et Catskill aux Etats-Unis a été menée.
- 43/ Les pluies acides ont causé la perte de quarante pourcent des insectes de ces lacs selon cette étude.

- 44/ Les pluies acides ont causé la perte de cinquante pourcent des mollusques de ces lacs selon cette étude.
- 45/ Les pluies acides ont causé la perte de vingt pourcent des crustacés de ces lacs selon cette étude.
- 46/ On observe des problèmes respiratoires et cardiaques.
- 47/ Brûler des combustibles fossiles cause une pollution de l'air.
- 48/ La pollution de l'air provoque des maladies respiratoires et cardiaques.
- 49/ Des poisons et des substances irritantes sont répandus dans l'atmosphère par la pollution.
- 50/ Les poisons et les substances irritantes attaquent les tissus pulmonaires.
- 51/ Les poisons et les substances irritantes peuvent détériorer de manière irréversible les tissus pulmonaires.
- 52/ La pollution de l'air représente une menace grave pour ceux qui souffrent de maladies respiratoires ou cardiaques.
- 53/ On observe des cancers et des effets génétiques.
- 54/ La plupart des gens connaissent le cancer et les menaces génétiques liés au nucléaire.
- 55/ Les gens savent moins que brûler des combustibles fossiles a aussi des effets cancérigènes.
- 56/ Les combustibles fossiles sont responsables de plus de cas de cancers et de défauts génétiques que les combustibles nucléaires.
- 57/ La plantation d'arbres est possible.
- 58/ Les arbres fournissent un refroidissement à ce qu'ils abritent quand ils transpirent.
- 59/ Ce refroidissement limite le développement de zones de chaleur urbaines.
- 60/ Les zones de chaleur urbaines sont provoquées par l'asphalte et les surfaces à revêtement foncé à l'intérieur des villes.
- 61/ Les zones de chaleur urbaines peuvent faire augmenter l'utilisation d'air conditionné.
- 62/ Planter trois arbres près de chaque bâtiment pourrait réduire l'utilisation d'air conditionné.
- 63/ Les taxes à la consommation sont possibles.
- 64/ Beaucoup de pays ont adopté une politique d'augmentation du prix de l'énergie par des taxes.
- 65/ Le Danemark applique une taxe de cinquante centimes par litre d'essence.
- 66/ Le Danemark taxe l'essence pour en dissuader la consommation.
- 67/ Les Etats-Unis fixent des taux de taxation sur l'essence très faibles.
- 68/ Les taxes appliquées aux Etats-Unis servent à l'entretien et à la construction des routes.
- 69/ L'utilisation de l'électronique est possible.
- 70/ La plupart des installations électriques sont conçues pour être soit complètement en marche soit tout à fait arrêtées.
- 71/ Ces installations n'ont souvent besoin pour fonctionner que d'une fraction de cette énergie.
- 72/ L'électronique permet une variation continue du volume d'énergie attribué à un appareil.
- 73/ Les variateurs de lumière sont un exemple d'utilisation de l'électronique.
- 74/ Le principe d'utilisation de l'électronique est une meilleure répartition de l'énergie selon les besoins variables des appareils.
- 75/ Il existe l'énergie océano-thermique.
- 76/ Une centrale océano-thermique est un grand moteur marchant à la chaleur.
- 77/ Une centrale océano-thermique peut être construite sur une plate-forme sur l'océan.
- 78/ Une centrale océano-thermique peut être construite sur la côte.
- 79/ De l'énergie solaire est emmagasinée à la surface de l'eau des océans tropicaux.
- 80/ Une centrale océano-thermique extrait cette énergie solaire.
- 81/ Il existe quarante degrés de différence de température entre la surface de l'océan et les courants arctiques froids en dessous.
- 82/ Une centrale océano-thermique peut exploiter cette différence de température.
- 83/ Il existe l'énergie géo-thermique.
- 84/ L'énergie géo-thermique est dérivée de la chaleur naturelle de la terre.
- 85/ Le centre en fusion de la terre peut atteindre jusqu'à 7200 degrés.
- 86/ Les poches d'eau chaude et de vapeur retenues près de la surface sont les formes les plus aisément accessibles d'énergie géo-thermique.
- 87/ Ces réservoirs se trouvent dans des régions qui ont eu une activité volcanique.

Texte ‘Lutte contre les incendies et prévention’

- 1/ Une phase est appelée phase de reconnaissance.
- 2/ La phase de reconnaissance débute dès l’arrivée des sapeurs-pompiers sur le site.
- 3/ Cette phase est un bilan de situation.
- 4/ La stratégie mise en œuvre dans les phases suivantes dépend de la phase de reconnaissance.
- 5/ La phase de reconnaissance est une phase importante.
- 6/ Si la phase de reconnaissance est mal conduite la situation peut rapidement se dégrader.
- 7/ Le chef officier fait une reconnaissance rapide du site.
- 8/ Pendant cette reconnaissance le chef officier est accompagné par ses assistants.
- 9/ Le chef officier détermine l’origine du feu.
- 10/ Le chef officier repère les risques spécifiques.
- 11/ Ces risques spécifiques sont liés aux alimentations en gaz.
- 12/ Ces risques spécifiques sont liés aux stockages de produits inflammables.
- 13/ Le chef officier donne ses ordres pour l’intervention.
- 14/ Une phase est appelée phase d’inspection.
- 15/ Les sapeurs-pompiers commencent l’inspection lorsqu’il ne reste plus aucune flamme visible.
- 16/ Les équipes sillonnent les lieux.
- 17/ Les équipes déterminent avec certitude que le feu est totalement éteint.
- 18/ Quelques hommes vérifient que le feu ne s’est pas étendu au-delà des murs de l’immeuble.
- 19/ Le feu peut s’étendre à travers des fissures ou des canalisations.
- 20/ Un incendie laisse toujours des braises ou des objets chauffés.
- 21/ Des braises ou des objets chauffés pourraient faire reprendre le feu.
- 22/ Le bombardier d’eau est un véhicule des sapeurs-pompiers.
- 23/ Le bombardier d’eau est un avion.
- 24/ Le bombardier d’eau peut larguer une grande quantité d’eau.
- 25/ Le bombardier d’eau peut être utilisé sur un feu de forêt étendu.
- 26/ Le bombardier d’eau est envoyé en priorité sur les feux à propagation rapide avec un vent fort.
- 27/ Le bombardier d’eau ne peut être utilisé que dans des zones sans personnel.
- 28/ Le largage d’une dizaine de tonnes d’eau peut causer de graves blessures.
- 29/ Il y a une coordination radio à opérer entre les équipes au sol et les équipes aériennes.
- 30/ La grande échelle est un véhicule des sapeurs-pompiers.
- 31/ La grande échelle est utilisée pour les immeubles de grande hauteur.
- 32/ La grande échelle permet d’arroser les immeubles par l’extérieur.
- 33/ La grande échelle permet d’acheminer des sapeurs-pompiers directement au niveau désiré.
- 34/ La grande échelle est constituée d’un châssis massif.
- 35/ Une échelle escamotable est montée sur le châssis.
- 36/ L’échelle peut atteindre une grande hauteur.
- 37/ Des vérins hydrauliques sont placés de chaque côté.
- 38/ Les vérins hydrauliques stabilisent le véhicule.
- 39/ Les vérins hydrauliques empêchent le véhicule de basculer lorsque l’échelle est déployée.
- 40/ Le bateau-pompe est un véhicule des sapeurs-pompiers.
- 41/ Le bateau-pompe est utilisé pour combattre les incendies d’embarcations en mer.
- 42/ Le bateau-pompe peut être utilisé lorsque le sinistre se trouve dans un port.
- 43/ Le bateau-pompe peut être utilisé lorsque le sinistre se trouve à proximité d’un fleuve.
- 44/ Dans ce cas le bateau-pompe est utilisé pour assister les équipes terrestres.
- 45/ Le bateau-pompe est doté de puissantes pompes.
- 46/ Les pompes permettent de fournir une grande quantité d’eau.
- 47/ Certains bateaux-pompes de petite taille sont conçus pour naviguer dans des eaux peu profondes.
- 48/ Ils sont adaptés aux incendies de petite taille.
- 49/ Ils sont adaptés au travail de sauvetage.
- 50/ Les catastrophes naturelles sont une mission des sapeurs-pompiers.
- 51/ Les catastrophes naturelles sont des événements climatiques ou sismiques majeurs.
- 52/ Les catastrophes naturelles prennent diverses formes.

- 53/ Les séismes sont un exemple de catastrophe naturelle.
- 54/ Les éruptions volcaniques sont un exemple de catastrophe naturelle.
- 55/ Les cyclones sont un exemple de catastrophe naturelle.
- 56/ Les inondations sont un exemple de catastrophe naturelle.
- 57/ Les avalanches sont un exemple de catastrophe naturelle.
- 58/ Les graves intempéries sont un exemple de catastrophe naturelle.
- 59/ L'action des sapeurs-pompiers peut recouvrir le transport de personnes.
- 60/ L'action des sapeurs-pompiers peut recouvrir le ravitaillement.
- 61/ L'action des sapeurs-pompiers peut recouvrir le contrôle de la circulation.
- 62/ L'action des sapeurs-pompiers peut recouvrir la prévention du pillage.
- 63/ L'action des sapeurs-pompiers peut recouvrir la construction de digues en cas de crues.
- 64/ Les accidents de la route sont une mission des sapeurs-pompiers.
- 65/ S'il y a des blessés les sapeurs-pompiers interviennent sur les accidents de la route.
- 66/ Les sapeurs-pompiers balisent le lieu de l'accident.
- 7/ L'objectif est d'éviter une collision avec un nouveau véhicule.
- 68/ Un sapeur-pompier essaie de se faufiler dans le véhicule.
- 69/ Le but est de rassurer.
- 70/ Le but est d'effectuer les premiers soins.
- 71/ Les sapeurs-pompiers dégagent les blessés.
- 72/ La déformation de la tôle peut faire obstacle à la sortie des blessés.
- 73/ Certains risques sont domestiques.
- 74/ Saturer une installation électrique est un exemple d'activité à risque.
- 75/ Il faut éviter de saturer une installation électrique.
- 76/ Jouer avec des allumettes est un exemple d'activité à risque.
- 77/ Il faut éviter de jouer avec des allumettes.
- 78/ Stocker des liquides inflammables est un exemple d'activité à risque.

Annexe 5 : Texte d'entraînement utilisé dans l'expérience 2

ESPECES EN VOIE DE DISPARITION

L'activité humaine a profondément transformé la planète au fil des siècles. Les méthodes modernes utilisées dans l'agriculture et l'aménagement des forêts ont entraîné des bouleversements profonds au niveau de la faune et de la flore. Les conséquences de l'activité humaine sur les oiseaux et les mammifères sont alarmantes. Le nombre total d'espèces vivantes a diminué et de nombreuses espèces ne subsistent plus que dans les réserves naturelles.

1. Les oiseaux menacés

1.1. Les perroquets

Le commerce clandestin menace la survie de nombreuses espèces de perroquets. Une caractéristique propre aux perroquets est leur habileté à imiter la voie humaine. A cause de cette habileté unique et de leur plumage coloré, de nombreux perroquets ont fini derrière un bar comme animal de compagnie ou comme objet de collection. Les espèces rares se monnayant à prix d'or sur les marchés clandestins, les mesures de protections ne suffisent pas à retenir les braconniers. La corruption rend totalement inefficace les lois destinées à leur protection. Certains accords douaniers internationaux ont néanmoins considérablement limité le commerce clandestin de ces espèces.

A cause de leur alimentation, les perroquets peuvent également être menacés par les cultivateurs de maïs et de fruit. Certaines espèces vivent en groupe toute l'année et ne se séparent que pendant la ponte et la couvée des œufs. Les fermiers voient d'un mauvais œil les larges volées de perroquets qui peuvent se nourrir dans leurs champs.

1.2. Les aigles pêcheurs

La disparition des aigles pêcheurs a d'abord été causée par une persécution volontaire et par la chasse. De l'argent était donné en échange de leur abattage parce qu'on a cru qu'ils réduisaient fortement le nombre de poissons et d'oiseaux, éléments nécessaires à la subsistance des pêcheurs. On a cru qu'ils réduisaient fortement le nombre de poissons et d'oiseaux présents sur la côte. Ces derniers étant nécessaires à la subsistance des pêcheurs, de l'argent était donné en échange de leur abattage. L'âge d'or de ces pratiques se situe au début du vingtième siècle. Heureusement, l'espèce ne s'est pas éteinte avant que les comportements changent. De nos jours, l'aigle pêcheur est l'objet d'études et de programmes de protection dans de nombreux pays. Les nids sont protégés jour et nuit de diverses formes de braconnage comme la cueillette des œufs.

1.3. Les manchots

La pêche industrielle intensive menace indirectement les manchots peuplant le littoral du Sud de l'Afrique. Les manchots sont en concurrence avec ces industries dans la pêche des sardines et des anchois car la quantité de poisson disponible n'est tout simplement pas assez importante pour satisfaire à la fois les besoins des pêcheurs et des manchots. On estime qu'un quart de la population de manchots africains a disparu suite à la construction de nouveaux ports de pêche.

Les manchots sont souvent appelés à tort pingouins. Ceci est dû à une erreur de traduction : les personnes de langue anglaise nomment toujours "penguins" les manchots, lesquels ne volent pas et vivent dans l'hémisphère sud, alors que les véritables pingouins volent et vivent dans l'hémisphère nord.

2. Les mammifères menacés

2.1. Les pandas

A cause de l'activité humaine, les forêts épaisses qui constituaient le milieu de vie des Pandas se sont clairsemées. Le bambou, qui a besoin d'une végétation dense pour pousser, s'est fait plus rare. La raréfaction des bambous a rendu la recherche de nourriture plus difficile, ceci ayant pour conséquence une hausse du taux de mortalité déjà très élevé de ces animaux. Généralement, un seul panda par portée survit jusqu'à l'âge adulte. Des tentatives d'élevage dans les zoos ont échoué en raison du comportement agressif des pandas mâles et de la mauvaise qualité des semences utilisées. De nos jours, les pandas vivent pratiquement exclusivement dans des réserves naturelles.

2.2. Les baleines

Les baleines sont particulièrement menacées par la pollution des mers qui s'est considérablement aggravée. Les baleines accumulent une quantité croissante de substances toxiques dans leurs organes à travers leur nutrition. Il y a quelques années, une quantité inquiétante de mercure a été trouvée dans le corps de Bélouga.

La pollution sonore nuit également à la survie des baleines. Le bruit occasionné par le trafic maritime perturbe le système de signaux sonores et d'échos utilisé par les baleines. La pêche intensive porte atteinte aux baleines de petite taille, particulièrement la pêche aux thons et aux saumons. On estime que des centaines de milliers de baleines de petite taille se trouvent piégées chaque année dans des chaluts ou des filets de pêche. Les filets de pêche modernes en matière synthétique ne font pas écho aux signaux envoyés par les baleines. Lorsque celles-ci se rendent compte du piège, il est souvent trop tard, elles sont accrochées au filet par leurs nageoires et meurent de noyade.

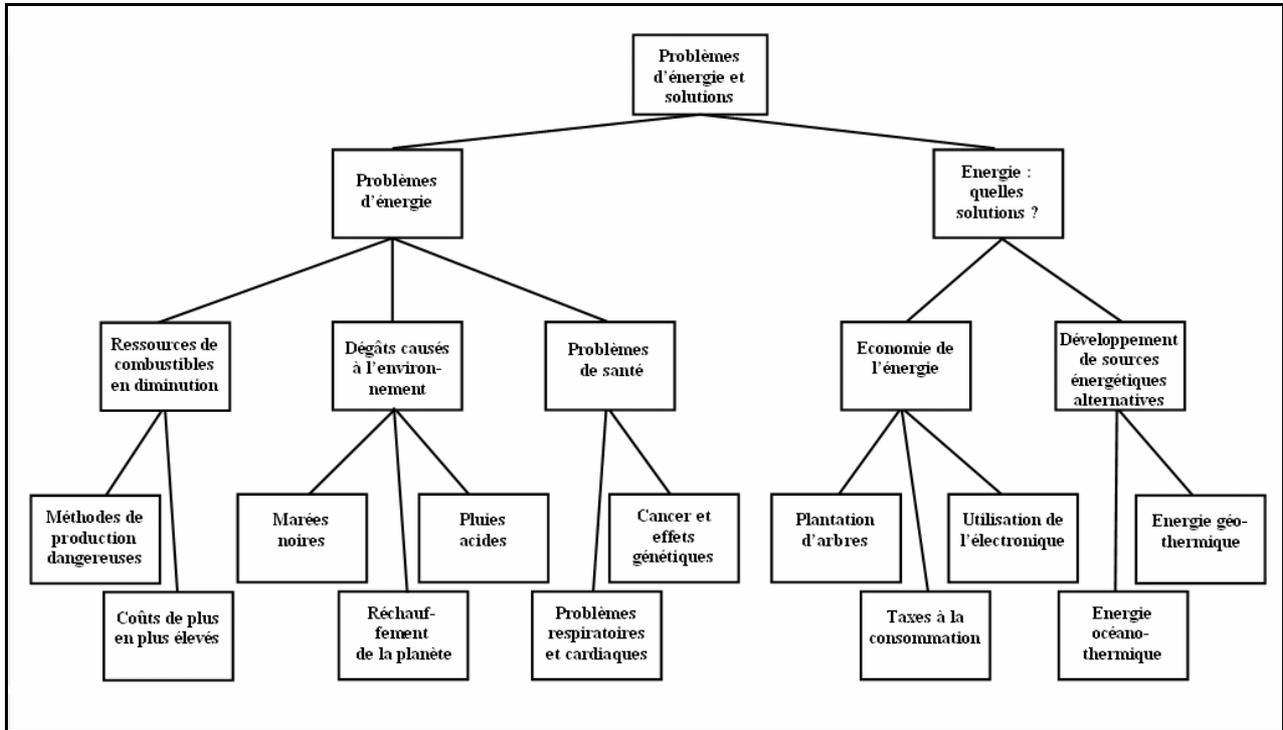
2.3. Les chauve-souris

Le plus grand danger pour les chauves-souris est d'être dérangé par des touristes pendant leur période d'hibernation en hiver. Les grottes qui abritent les chauves-souris pendant cette période sont de plus en plus fréquentées par les touristes. Chaque réveil inutile en période hivernale entame les ressources énergétiques dont l'animal a besoin pour survivre jusqu'au printemps. Pour remédier à ce problème, l'entrée de certaines grottes occupées par les chauves-souris était condamnée pendant l'hiver. Mais on s'est alors rendu compte que cela entraînait un microclimat néfaste pour l'hibernation d'une part et que cela empêchait l'entrée tardive de certaines chauves-souris d'autre part. Il est désormais recommandé d'utiliser des barreaux pour fermer les grottes car ceux-ci bloquent l'entrée des humains sans bloquer l'entrée des chauves-souris et sans entraver la circulation de l'air.

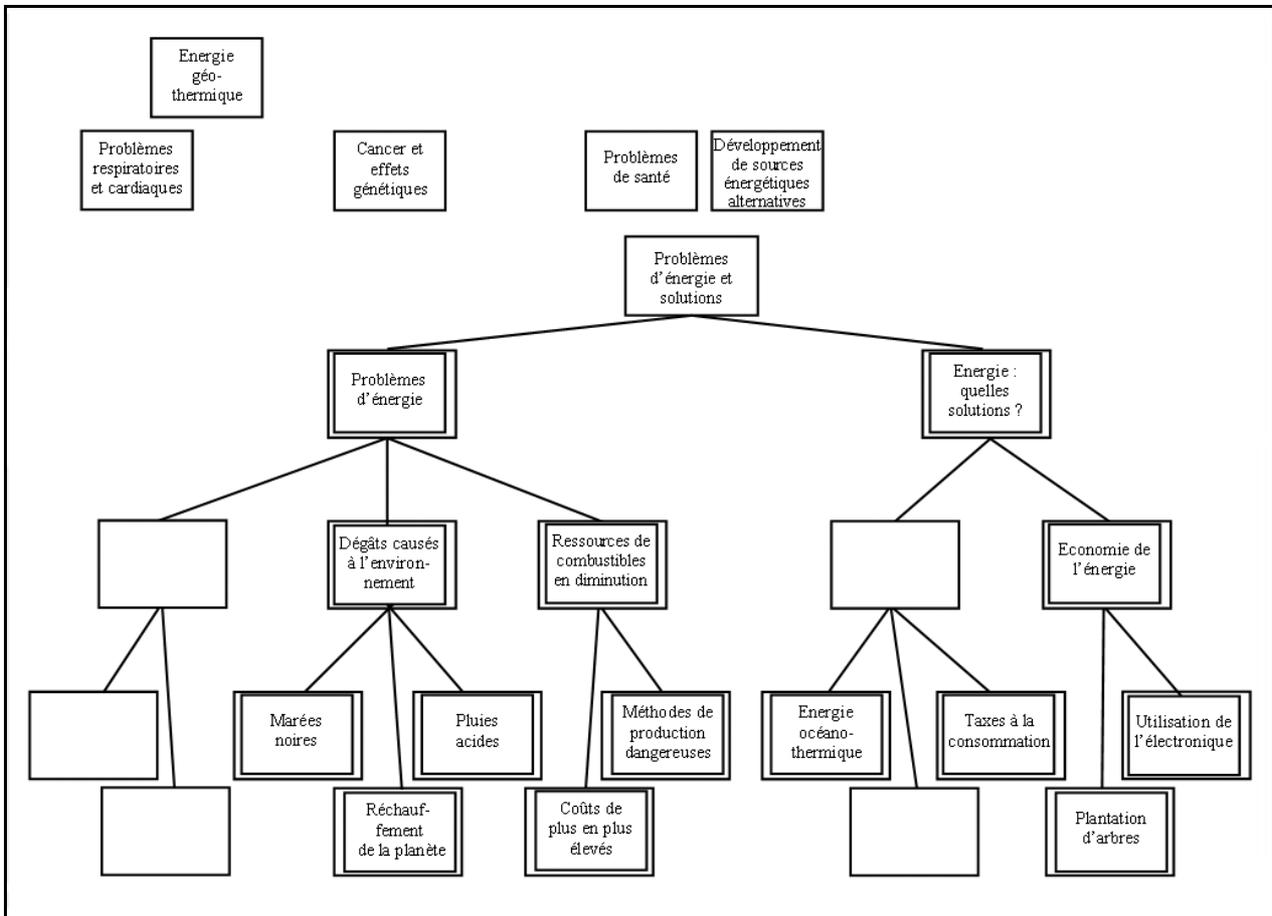
2.4. Les chats tachetés

Les chats tachetés ont beaucoup souffert d'une mode qui a fait de leur fourrure un matériau très recherché dans les années soixante. Cette mode s'est rapidement répandue à travers le monde et cela a créé une forte demande sur les marchés d'affaire. Le nombre de chasseurs a alors inévitablement augmenté. Fort heureusement, le commerce de leur fourrure s'est par la suite progressivement amoindri. Des actions militantes ont été menées contre ce type de commerce, les modes ont changé, la fourrure synthétique s'est popularisée et des lois de protection ont vu le jour mais le commerce illégal est encore vivace. Fin du texte.

Annexe 6 : Exemple de notation de la tâche de rappel de l'organisation hiérarchique



Organisation hiérarchique du texte original



Protocole de rappel du participant

Score : 87 / 171 = .51	Prb d'énergie	Solutions	Diminuti on des ressource	Dégâts environn ement	Prb de santé	Econ. de l'énergie	Sources alternativ es	Méthode s prod dangereu ses	Coûts élevés	Marées noires	Réchauff climatiqu e	Pluies acides	Prb respiratoi res et	Cancer et effets génétiques	Plant d'arbres	Taxes	L'électro nique	Océano- thermie	Géo- thermie
Problèmes d'énergie																			
Solutions	1																		
Diminution des ressources	1	1																	
Dégâts environnement	1	1	1																
Problèmes de santé																			
Economie de l'énergie	1	1	1	1															
Sources alternatives																			
Méthodes prod dangereuses	1	1	1	1		1													
Coûts élevés	1	1	1	1		1		1											
Marées noires	1	1	1	1		1		1	1										
Réchauffement climatique	1	1	1	1		1		1	1	1									
Pluies acides	1	1	1	1		1		1	1	1	1								
Prb respiratoires et cardiaques																			
Cancer et effets génétiques																			
Plantation d'arbres	1	1	1	1		0		1	1	1	1	1							
Taxes	1	1	1	1		1		1	1	1	1	1			0				
L'électronique	1	1	1	1		1		1	1	1	1	1			1	0			
Océano-thermie	1	1	1	1		1		1	1	1	1	1			1	0	1		
Géo-thermie																			

Matrice de notation correspondant au protocole du participant

Annexe 7 : Trois versions du texte expérimental sur les espèces animales utilisé
dans l'expérience 3

ESPECES EN VOIE DE DISPARITION

L'activité humaine a profondément transformé la planète au fil des siècles. Les méthodes modernes utilisées dans l'agriculture et l'aménagement des forêts ont entraîné des bouleversements profonds au niveau de la faune et de la flore. Les conséquences de l'activité humaine sur les oiseaux et les mammifères sont alarmantes. Le nombre total d'espèces vivantes a diminué et de nombreuses espèces ne subsistent plus que dans les réserves naturelles.

I. Les mammifères menacés

Les mammifères de moyenne et grande taille sont les plus menacés par l'activité humaine. On estime qu'au moins 120 espèces de mammifères ont disparu ces deux derniers siècles. Les causes principales de la disparition de ces espèces sont la chasse, la pollution et la réduction de l'espace forestier. Fort heureusement, l'attitude des humains à l'égard des mammifères menacés d'extinction est en train d'évoluer. Les hommes font de plus en plus d'effort pour protéger les espèces menacées et leur habitat naturel.

1. Les chauves-souris

Les chauves-souris sont les seuls mammifères volants existants. La plupart sont insectivores, certaines se nourrissent de nectar et de fruits, participant ainsi à la pollinisation et à la dispersion des graines. Les vampires d'Amérique latine consomment du sang de grands mammifères. Ce sont des animaux nocturnes, qui fuient la chaleur du jour, le risque de déshydratation et se méfient des prédateurs. Ils naviguent dans le noir à l'aide d'une sorte de sonar, un système de réflexion des ondes sonores. Le jour, les chauves-souris juchent dans les arbres et les grottes, souvent en colonies de plus d'un million d'individus. Dans les zones urbaines, elles s'installent dans les bâtiments. On les rencontre dans les régions tempérées et tropicales, mais c'est près de l'équateur qu'elles sont le plus nombreuses. Celles qui passent l'été dans les régions tempérées hibernent ou migrent vers l'équateur en hiver. La plupart n'ont qu'un seul petit par an, ce qui fait qu'en cas de catastrophes, les populations se reconstituent difficilement. Ces mal-aimées sont en fait d'un grand secours pour l'homme. Elles participent à la régulation des populations d'insectes néfastes pour l'agriculture ou porteurs de maladies. Une seule chauve-souris peut tuer jusqu'à 20 000 insectes en une nuit. Leurs travers paraissent

alors mineurs. Pourtant, les humains menacent ces espèces de diverses manières. Certaines chauves-souris, telle la roussette géante d'Asie du Sud-Est, sont chassées pour leur chair. D'autres, comme le noctilion bec-de-lièvre, se sont éteintes par endroits à la suite de l'introduction dans leur habitat insulaire de rats, de chats et de chiens domestiques. Les mines, les dépôts de déchets et l'inconscience des touristes menacent les grottes où elles gâtent. Les chauves-souris subissent les conséquences de l'emprise de l'agriculture et de l'exploitation forestière sur leurs territoires. Par ailleurs, leur déclin incite les fermiers à utiliser plus de pesticides contre les insectes porteurs de maladies, ce qui, à son tour, risque d'empoisonner celles qui restent.

2. Les baleines

Toutes les baleines sont des mammifères. Il leur faut remonter à la surface de l'eau pour respirer par les événements situés sur le dessus de leur tête. Certaines baleines, dont le cachalot, l'hypérodon arctique, la baleine à bec et le bélouga ont des dents et se nourrissent de poissons. D'autres, surtout la baleine grise, la baleine à bosse, la baleine franche et la baleine bleue, filtrent le plancton et le krill au travers de la rangée de longues lames cornées appelées fanons qui garnissent leur bouche. Certaines espèces se déplacent en groupes. Elles disposent d'un répertoire considérable de sons sous-marins : aboiements, sifflements, cris et murmures, ainsi que des claquements à haute fréquence pour la navigation et le repérage de nourriture. La baleine peut être exploitée commercialement pour sa viande, sa graisse, ses os, et l'ambre qu'on utilise en parfumerie. Des centaines d'années de chasse avec des méthodes progressivement plus efficaces ont mené à la quasi-extinction de certaines espèces, en particulier de la baleine bleue. La Commission baleinière internationale, créée en 1946, tente d'instaurer des mesures qui protègent à la fois les baleines et les moyens d'existence des pêcheurs spécialisés. Elle a d'abord imposé des quotas pour donner aux populations de baleines une chance de se reconstituer, puis a fixé, en 1983, un moratoire temporaire sur le commerce baleinier devant prendre effet en 1986. Malgré le relatif échec de ces mesures, le nombre de baleines tuées a diminué, et certaines espèces, telles que la baleine grise ou la baleine à bosse, ont recommencé à se reproduire. Certains peuples, pour lesquels la pêche à la baleine joue un rôle clé dans l'économie tout en fournissant un élément essentiel du mode de nourriture, sont exemptés de l'interdiction de pêche. Ainsi, au Groenland, on chasse le rorqual et l'épaulard, en Sibérie la baleine grise. Le développement gêne les

baleines dans la mesure où leurs lieux de reproduction et de mise bas sont souvent situés dans des eaux peu profondes le long des côtes. Mais leur observation constitue désormais une attraction touristique prisée dans les zones dont l'économie dépendait jadis de leur pêche. C'est aussi une activité qui permet de développer la connaissance qu'on doit avoir de ces animaux et d'influencer les gouvernements pour qu'ils continuent à les protéger.

3. Les grands singes

Les populations de grands singes diminuent dramatiquement. L'étude des sociétés et des comportements de nos plus proches parents risque fort de ne pouvoir bientôt se mener que dans les zoos. Parmi les primates, les grands singes (gorilles, chimpanzés, bonobos et orangs-outans) sont au bord d'une extinction que d'aucuns annoncent déjà comme inévitable. Il s'agit en effet d'animaux de grande taille, donc présentant des densités faibles. En outre, leur rythme de reproduction est particulièrement lent. Enfin, la plupart des espèces sont inféodées à la forêt, notamment à la forêt tropicale, un des milieux naturels dont la destruction est le plus rapide. La disparition des grands singes serait une catastrophe d'une gravité particulière, car il s'agit d'animaux dont nous avons encore beaucoup à apprendre concernant notre propre nature et nos origines : les hommes partagent avec les chimpanzés 99% de leurs gènes. Or cela ne fait qu'une trentaine d'années que les relations au sein des sociétés de grands singes sont étudiées. Les rapports sociaux qui ont été dévoilés par les chercheurs sont véritablement passionnants, basés sur des systèmes complexes d'alliances, de fidélité et de trahison. De véritables stratégies individuelles ont été découvertes, et des scientifiques ont décrit l'existence de personnalités subtiles et différenciées. La création de zones protégées est une urgence absolue. Il reste moins de 45 000 gorilles, dont 300 individus seulement du gorille des montagnes, la plus menacée, qui vit en République démocratique du Congo, au Rwanda et en Ouganda. Les bonobos, des cousins des chimpanzés aux mœurs étonnantes et aux relations sociales particulièrement sophistiquées, ne sont plus que 13 000.

4. Le tigre

Emblème par excellence de la nature sauvage, le tigre disparaît malgré toutes les mesures de protection dont il fait en principe l'objet. Un constat peu rassurant pour les autres espèces. Au début du siècle dernier, 300 000 tigres peuplaient une vaste aire de répartition allant de la mer Caspienne à l'Extrême-Orient. Ils n'étaient plus que 100 000

en 1945 et 15 000 en 1970. Les effectifs actuels sont estimés entre 5000 et 7500 individus. Le tigre cumule les handicaps. Son statut de grand carnivore, occasionnellement mangeur d'hommes, ne risque pas de lui valoir la sympathie des populations locales. Ses besoins nutritifs sont importants, alors que la chasse et les activités humaines réduisent la quantité de gibier à sa disposition. Il vit principalement en forêt, un milieu qui se réduit comme peau de chagrin. Sa fourrure exceptionnelle reste très convoitée. Mais, surtout, il est devenu l'animal fétiche de la médecine traditionnelle chinoise, qui compte un milliard d'adeptes dans le monde. Pratiquement chaque partie de son corps (sang, cerveau, testicules, queue, estomac...) est censée jouer un rôle thérapeutique, l'os étant le plus prisé. Une carcasse de tigre, sur place, vaut quelque 6 000 dollars ; et ses différents constituants, une fois commercialisés, peuvent en rapporter 5 millions ! Or, le revenu des paysans asiatiques qui partagent l'habitat du tigre excède rarement les 10 dollars par mois. Dans ces conditions, le prix d'un tigre est une incitation permanente au braconnage, que les Etats ne sont jamais parvenus à éradiquer, surtout quand il est « contrôlé » par des autorités locales corrompues par le grand banditisme. Sauver le tigre suppose une politique énergique (et coûteuse), visant à éradiquer le trafic clandestin, et s'appuyant sur les populations locales qu'il est vital d'intéresser à la préservation de l'espèce. Le déclin du tigre est particulièrement inquiétant, car il illustre l'incapacité manifeste de l'humanité à enrayer la disparition des espèces. Il est en effet difficile d'imaginer animal plus célèbre et admiré que le tigre : d'innombrables livres et films lui ont été consacrés, des campagnes internationales coûteuses ont été menées en sa faveur et sa popularité quasi universelle devrait en faire une cause facile à défendre.

5. Les ours

Les ours se classent parmi les plus grands carnivores. En général, ils vivent en solitaires, sauf à la saison des amours. Ce sont d'excellents nageurs et les plus petits sont bons grimpeurs. La chasse à l'ours s'explique à la fois par la peur qu'il inspire et par le profit à tirer du commerce de sa fourrure et de sa viande. D'une part, les ours deviennent nuisibles quand leur territoire empiète sur des terres cultivées, et d'autre part, les braconniers les traquent pour la vente de certaines parties de leur dépouille ou pour les capturer vivants pour le marché des animaux de compagnie et de spectacle. Enfin, la médecine traditionnelle chinoise utilise la vésicule biliaire des ours contre les maladies du foie. L'habitat de l'ours s'est souvent restreint, ce qui a fragmenté les

populations au risque d'en arriver localement à l'extinction complète. Les groupes d'ours insulaires sont par ailleurs menacés d'affaiblissement génétique. En Amérique du Nord et dans l'Arctique, des politiques sophistiquées de protection et de gestion de la chasse ont permis de maintenir les espèces d'ours qui y vivent, même si actuellement la pollution et le réchauffement de la planète créent des problèmes supplémentaires. En Asie et en Amérique latine où ces politiques sont moins fréquentes, la population sans cesse croissante repousse de plus en plus les ours hors de leur territoire. Les « corridors » ménagés entre les réserves permettent aux ours de s'accoupler en évitant toute consanguinité. Les programmes de reproduction en captivité semblent là aussi constituer un espoir. Toutefois, alors que 100 pandas géants se trouvent actuellement dans des zoos, la fécondité de ces animaux en captivité est malheureusement encore plus basse que dans la nature.

II. Les oiseaux menacés

Les oiseaux sont des vertébrés à sang chaud : grâce à un squelette composé d'os creux, à leurs ailes et à leurs plumes, la plupart d'entre eux volent. En 2000, on considérait que 12% des espèces connues, soit plus de 1000, étaient menacées. Leur habitat est principalement menacé par l'exploitation forestière, l'agriculture intensive et le développement en général, qui introduit de nouveaux prédateurs et des maladies inconnues. Même les chats domestiques, si on les laisse en liberté, peuvent tuer des centaines de petits oiseaux chaque année. Chasse et braconnage nuisent aussi à de nombreuses espèces.

1. Les perroquets

La plupart des perroquets vivent dans la forêt tropicale. Ils ne peuvent pas voler sur de longues distances. Certaines espèces insulaires sont donc réduites à leur petit territoire, ce qui les rend particulièrement vulnérables. 95 espèces de perroquets sont considérées comme menacées, une proportion qu'aucune autre grande famille d'oiseaux n'atteint. Aux Antilles, on pense qu'au moins 16 espèces ont été décimées par des explorateurs européens, et l'amazone de Porto Rico est en danger d'extinction. Les perroquets, surtout le gris d'Afrique et l'Amazone, sont d'excellents imitateurs. Ce talent, allié à leur naturel aimable et leur plumage coloré, en fait des animaux domestiques appréciés ainsi que des pensionnaires de zoos prisés, surtout en Europe et au Japon. Certains pays, tels que le Mexique ou l'Australie, interdisent l'exportation des

perroquets pour en préserver les populations sauvages. Mais ce commerce, tant légal qu'illégal, demeure florissant, menaçant la survie des espèces vivant dans la nature. Le braconnage à lui seul touche 39 espèces et tue plus d'oiseaux que les causes naturelles. Les perroquets sont aussi chassés pour leur chair, et les fermiers considèrent comme nuisibles certaines espèces mangeuses de graines. Les prédateurs domestiques comme les chats sont une menace constante, mais le facteur essentiel de disparition de ces oiseaux est la réduction de leur habitat naturel à cause des brûlis, de l'exploitation forestière et de l'urbanisation. La Commission de protection des espèces a donc annoncé un Plan d'action pour la sauvegarde des perroquets : étant donné l'insuffisance des données, le plan recommande la mise en œuvre d'une étude approfondie destinée à mieux identifier les menaces qui pèsent sur les perroquets, et propose des techniques pour leur sauvegarde dans le cadre de la destruction des habitats et du braconnage. Malheureusement, les intérêts économiques risquent de primer sur la mise en œuvre de telles mesures.

2. Les manchots

Le manchot est un oiseau massif, avec un cou court, un bec pointu et des pattes palmées. Ses ailes, très réduites, ne lui permettent absolument pas de voler, mais sont formidablement adaptées à la nage. Les manchots se nourrissent de poissons, de seiches, de crustacés et de mollusques. Maladroit et lent sur le sol où il se laisse volontairement glisser, le manchot est remarquablement agile et rapide dans l'eau. Ses ailes lui servent alors de nageoires, et ses pattes palmées de gouvernail. Pendant la saison de reproduction, ils se rassemblent en immenses colonies - plusieurs milliers de couples - sur des côtes désertes et escarpées. Ces colonies contiennent parfois différentes espèces de manchots, mais qui sont alors assez nettement séparées. Leurs sites de nidification peuvent être très difficiles d'accès, et éloignés de plusieurs kilomètres de l'océan. Les différentes espèces n'ont pas les mêmes nids. Certains creusent la glace ou les cailloux pour former un terrier bien protégé, tel le manchot de Humboldt et celui du Cap, d'autres forment un nid à l'aide de brindilles, à l'air libre, tel le manchot d'Adélie. Enfin, les manchots royaux et empereurs gardent leur unique œuf sur leurs pattes. De 30 à 50 jours sont nécessaires à l'éclosion. À la naissance, les petits sont recouverts d'un duvet gris. Les parents vont alors en mer pour chercher de la nourriture et la régurgitent pour leur petit. Lorsque le duvet tombe, le petit s'aventure en mer et doit, dès lors, se nourrir seul. La pêche industrielle intensive menace indirectement les manchots peuplant le

littoral du Sud de l'Afrique. Les manchots sont en concurrence avec ces industries dans la pêche des sardines et des anchois car la quantité de poisson disponible n'est tout simplement pas assez importante pour satisfaire à la fois les besoins des pêcheurs et des manchots. On estime qu'un quart de la population de manchots africains a disparu suite à la construction de nouveaux ports de pêche. Les manchots sont également menacés par les marées noires. Le trafic maritime incessant au large de la rivière Benguela a engendré de nombreux accidents impliquant des pétroliers. Des programmes visant à sauver les oiseaux touchés ont été développés, mais ils ont en règle générale difficilement fait face à l'ampleur des catastrophes.

3. Les oiseaux migrants

La plupart des oiseaux migrants parviennent à leurs territoires de reproduction dans l'hémisphère Nord au début de l'été, attendant la naissance et la croissance de leurs poussins, puis prennent la direction du Sud pour échapper aux rigueurs de l'hiver. Leur mobilité rend l'étude de ces espèces difficile, et bien des données les concernant restent mystérieuses. Il existe de nombreux projets destinés à mieux les connaître, tels que pose de bagues et suivi par satellite. Jusqu'à maintenant, on se repose sur les observations des ornithologues amateurs, dont les échanges sont désormais facilités par l'Internet. Les principaux itinéraires de ces oiseaux ont pu être identifiés, mais certaines espèces changent parfois de parcours. La plupart comptent sur des escales reconnues où ils se reposent, se nourrissent et reprennent des forces pour la suite de leur migration. Les marécages constituent des haltes de prédilection. Malheureusement, bon nombre de ces territoires sont menacés : autour de la Méditerranée, ce sont les constructions qui détériorent ces terres, et, comme par exemple dans le parc naturel d'Ichkeul en Tunisie, certains marécages ne sont plus alimentés en eau douce. Avec le réchauffement de la planète et la réduction pluviométrique qu'il entraîne, il peut arriver que des oiseaux, au terme de leur long voyage, trouvent leur site de nidification à sec. Par ailleurs, la hausse du niveau de la mer due à la fonte des calottes glaciaires risque de submerger certains de ces territoires. Bon nombre d'oiseaux migrants n'arrivent jamais à destination : des millions d'entre eux sont abattus, surtout par les fermiers du Moyen Orient et d'Afrique, ou par des chasseurs en Europe Méridionale. S'ils échappent aux balles, il leur faut encore contourner les zones bâties et éviter de percuter grattes-ciel et lignes à haute tension. Fin du texte.

L'activité humaine a profondément transformé la planète au fil des siècles. Les méthodes modernes utilisées dans l'agriculture et l'aménagement des forêts ont entraîné des bouleversements profonds au niveau de la faune et de la flore. Les conséquences de l'activité humaine sur les oiseaux et les mammifères sont alarmantes. Le nombre total d'espèces vivantes a diminué et de nombreuses espèces ne subsistent plus que dans les réserves naturelles.

Les mammifères de moyenne et grande taille sont les plus menacés par l'activité humaine. On estime qu'au moins 120 espèces de mammifères ont disparu ces deux derniers siècles. Les causes principales de la disparition de ces espèces sont la chasse, la pollution et la réduction de l'espace forestier. Fort heureusement, l'attitude des humains à l'égard des mammifères menacés d'extinction est en train d'évoluer. Les hommes font de plus en plus d'effort pour protéger les espèces menacées et leur habitat naturel.

Les chauves-souris sont les seuls mammifères volants existants. La plupart sont insectivores, certaines se nourrissent de nectar et de fruits, participant ainsi à la pollinisation et à la dispersion des graines. Les vampires d'Amérique latine consomment du sang de grands mammifères. Ce sont des animaux nocturnes, qui fuient la chaleur du jour, le risque de déshydratation et se méfient des prédateurs. Ils naviguent dans le noir à l'aide d'une sorte de sonar, un système de réflexion des ondes sonores. Le jour, les chauves-souris juchent dans les arbres et les grottes, souvent en colonies de plus d'un million d'individus. Dans les zones urbaines, elles s'installent dans les bâtiments. On les rencontre dans les régions tempérées et tropicales, mais c'est près de l'équateur qu'elles sont le plus nombreuses. Celles qui passent l'été dans les régions tempérées hibernent ou migrent vers l'équateur en hiver. La plupart n'ont qu'un seul petit par an, ce qui fait qu'en cas de catastrophes, les populations se reconstituent difficilement. Ces mal-aimées sont en fait d'un grand secours pour l'homme. Elles participent à la régulation des populations d'insectes néfastes pour l'agriculture ou porteurs de maladies. Une seule chauve-souris peut tuer jusqu'à 20 000 insectes en une nuit. Leurs travers paraissent

alors mineurs. Pourtant, les humains menacent ces espèces de diverses manières. Certaines chauves-souris, telle la roussette géante d'Asie du Sud-Est, sont chassées pour leur chair. D'autres, comme le noctilion bec-de-lièvre, se sont éteintes par endroits à la suite de l'introduction dans leur habitat insulaire de rats, de chats et de chiens domestiques. Les mines, les dépôts de déchets et l'inconscience des touristes menacent les grottes où elles gâtent. Les chauves-souris subissent les conséquences de l'emprise de l'agriculture et de l'exploitation forestière sur leurs territoires. Par ailleurs, leur déclin incite les fermiers à utiliser plus de pesticides contre les insectes porteurs de maladies, ce qui, à son tour, risque d'empoisonner celles qui restent.

Toutes les baleines sont des mammifères. Il leur faut remonter à la surface de l'eau pour respirer par les événements situés sur le dessus de leur tête. Certaines baleines, dont le cachalot, l'hypérodon arctique, la baleine à bec et le bélouga ont des dents et se nourrissent de poissons. D'autres, surtout la baleine grise, la baleine à bosse, la baleine franche et la baleine bleue, filtrent le plancton et le krill au travers de la rangée de longues lames cornées appelées fanons qui garnissent leur bouche. Certaines espèces se déplacent en groupes. Elles disposent d'un répertoire considérable de sons sous-marins : aboiements, sifflements, cris et murmures, ainsi que des claquements à haute fréquence pour la navigation et le repérage de nourriture. La baleine peut être exploitée commercialement pour sa viande, sa graisse, ses os, et l'ambre qu'on utilise en parfumerie. Des centaines d'années de chasse avec des méthodes progressivement plus efficaces ont mené à la quasi-extinction de certaines espèces, en particulier de la baleine bleue. La Commission baleinière internationale, créée en 1946, tente d'instaurer des mesures qui protègent à la fois les baleines et les moyens d'existence des pêcheurs spécialisés. Elle a d'abord imposé des quotas pour donner aux populations de baleines une chance de se reconstituer, puis a fixé, en 1983, un moratoire temporaire sur le commerce baleinier devant prendre effet en 1986. Malgré le relatif échec de ces mesures, le nombre de baleines tuées a diminué, et certaines espèces, telles que la baleine grise ou la baleine à bosse, ont recommencé à se reproduire. Certains peuples, pour lesquels la pêche à la baleine joue un rôle clé dans l'économie tout en fournissant un élément essentiel du mode de nourriture, sont exemptés de l'interdiction de pêche. Ainsi, au Groenland, on chasse le rorqual et l'épaulard, en Sibérie la baleine grise. Le développement gêne les

baleines dans la mesure où leurs lieux de reproduction et de mise bas sont souvent situés dans des eaux peu profondes le long des côtes. Mais leur observation constitue désormais une attraction touristique prisée dans les zones dont l'économie dépendait jadis de leur pêche. C'est aussi une activité qui permet de développer la connaissance qu'on doit avoir de ces animaux et d'influencer les gouvernements pour qu'ils continuent à les protéger.

Les populations de grands singes diminuent dramatiquement. L'étude des sociétés et des comportements de nos plus proches parents risque fort de ne pouvoir bientôt se mener que dans les zoos. Parmi les primates, les grands singes (gorilles, chimpanzés, bonobos et orangs-outans) sont au bord d'une extinction que d'aucuns annoncent déjà comme inévitable. Il s'agit en effet d'animaux de grande taille, donc présentant des densités faibles. En outre, leur rythme de reproduction est particulièrement lent. Enfin, la plupart des espèces sont inféodées à la forêt, notamment à la forêt tropicale, un des milieux naturels dont la destruction est le plus rapide. La disparition des grands singes serait une catastrophe d'une gravité particulière, car il s'agit d'animaux dont nous avons encore beaucoup à apprendre concernant notre propre nature et nos origines : les hommes partagent avec les chimpanzés 99% de leurs gènes. Or cela ne fait qu'une trentaine d'années que les relations au sein des sociétés de grands singes sont étudiées. Les rapports sociaux qui ont été dévoilés par les chercheurs sont véritablement passionnants, basés sur des systèmes complexes d'alliances, de fidélité et de trahison. De véritables stratégies individuelles ont été découvertes, et des scientifiques ont décrit l'existence de personnalités subtiles et différenciées. La création de zones protégées est une urgence absolue. Il reste moins de 45 000 gorilles, dont 300 individus seulement du gorille des montagnes, la plus menacée, qui vit en République démocratique du Congo, au Rwanda et en Ouganda. Les bonobos, des cousins des chimpanzés aux mœurs étonnantes et aux relations sociales particulièrement sophistiquées, ne sont plus que 13 000.

Emblème par excellence de la nature sauvage, le tigre disparaît malgré toutes les mesures de protection dont il fait en principe l'objet. Un constat peu rassurant pour les autres espèces. Au début du siècle dernier, 300 000 tigres peuplaient une vaste aire de répartition allant de la mer Caspienne à l'Extrême-Orient. Ils n'étaient plus que 100 000

en 1945 et 15 000 en 1970. Les effectifs actuels sont estimés entre 5000 et 7500 individus. Le tigre cumule les handicaps. Son statut de grand carnivore, occasionnellement mangeur d'hommes, ne risque pas de lui valoir la sympathie des populations locales. Ses besoins nutritifs sont importants, alors que la chasse et les activités humaines réduisent la quantité de gibier à sa disposition. Il vit principalement en forêt, un milieu qui se réduit comme peau de chagrin. Sa fourrure exceptionnelle reste très convoitée. Mais, surtout, il est devenu l'animal fétiche de la médecine traditionnelle chinoise, qui compte un milliard d'adeptes dans le monde. Pratiquement chaque partie de son corps (sang, cerveau, testicules, queue, estomac...) est censée jouer un rôle thérapeutique, l'os étant le plus prisé. Une carcasse de tigre, sur place, vaut quelque 6 000 dollars ; et ses différents constituants, une fois commercialisés, peuvent en rapporter 5 millions ! Or, le revenu des paysans asiatiques qui partagent l'habitat du tigre excède rarement les 10 dollars par mois. Dans ces conditions, le prix d'un tigre est une incitation permanente au braconnage, que les Etats ne sont jamais parvenus à éradiquer, surtout quand il est « contrôlé » par des autorités locales corrompues par le grand banditisme. Sauver le tigre suppose une politique énergique (et coûteuse), visant à éradiquer le trafic clandestin, et s'appuyant sur les populations locales qu'il est vital d'intéresser à la préservation de l'espèce. Le déclin du tigre est particulièrement inquiétant, car il illustre l'incapacité manifeste de l'humanité à enrayer la disparition des espèces. Il est en effet difficile d'imaginer animal plus célèbre et admiré que le tigre : d'innombrables livres et films lui ont été consacrés, des campagnes internationales coûteuses ont été menées en sa faveur et sa popularité quasi universelle devrait en faire une cause facile à défendre.

Les ours se classent parmi les plus grands carnivores. En général, ils vivent en solitaires, sauf à la saison des amours. Ce sont d'excellents nageurs et les plus petits sont bons grimpeurs. La chasse à l'ours s'explique à la fois par la peur qu'il inspire et par le profit à tirer du commerce de sa fourrure et de sa viande. D'une part, les ours deviennent nuisibles quand leur territoire empiète sur des terres cultivées, et d'autre part, les braconniers les traquent pour la vente de certaines parties de leur dépouille ou pour les capturer vivants pour le marché des animaux de compagnie et de spectacle. Enfin, la médecine traditionnelle chinoise utilise la vésicule biliaire des ours contre les maladies du foie. L'habitat de l'ours s'est souvent restreint, ce qui a fragmenté les

populations au risque d'en arriver localement à l'extinction complète. Les groupes d'ours insulaires sont par ailleurs menacés d'affaiblissement génétique. En Amérique du Nord et dans l'Arctique, des politiques sophistiquées de protection et de gestion de la chasse ont permis de maintenir les espèces d'ours qui y vivent, même si actuellement la pollution et le réchauffement de la planète créent des problèmes supplémentaires. En Asie et en Amérique latine où ces politiques sont moins fréquentes, la population sans cesse croissante repousse de plus en plus les ours hors de leur territoire. Les « corridors » ménagés entre les réserves permettent aux ours de s'accoupler en évitant toute consanguinité. Les programmes de reproduction en captivité semblent là aussi constituer un espoir. Toutefois, alors que 100 pandas géants se trouvent actuellement dans des zoos, la fécondité de ces animaux en captivité est malheureusement encore plus basse que dans la nature.

Les oiseaux sont des vertébrés à sang chaud : grâce à un squelette composé d'os creux, à leurs ailes et à leurs plumes, la plupart d'entre eux volent. En 2000, on considérait que 12% des espèces connues, soit plus de 1000, étaient menacées. Leur habitat est principalement menacé par l'exploitation forestière, l'agriculture intensive et le développement en général, qui introduit de nouveaux prédateurs et des maladies inconnues. Même les chats domestiques, si on les laisse en liberté, peuvent tuer des centaines de petits oiseaux chaque année. Chasse et braconnage nuisent aussi à de nombreuses espèces.

La plupart des perroquets vivent dans la forêt tropicale. Ils ne peuvent pas voler sur de longues distances. Certaines espèces insulaires sont donc réduites à leur petit territoire, ce qui les rend particulièrement vulnérables. 95 espèces de perroquets sont considérées comme menacées, une proportion qu'aucune autre grande famille d'oiseaux n'atteint. Aux Antilles, on pense qu'au moins 16 espèces ont été décimées par des explorateurs européens, et l'amazone de Porto Rico est en danger d'extinction. Les perroquets, surtout le gris d'Afrique et l'Amazone, sont d'excellents imitateurs. Ce talent, allié à leur naturel aimable et leur plumage coloré, en fait des animaux domestiques appréciés ainsi que des pensionnaires de zoos prisés, surtout en Europe et au Japon. Certains pays, tels que le Mexique ou l'Australie, interdisent l'exportation des

perroquets pour en préserver les populations sauvages. Mais ce commerce, tant légal qu'illégal, demeure florissant, menaçant la survie des espèces vivant dans la nature. Le braconnage à lui seul touche 39 espèces et tue plus d'oiseaux que les causes naturelles. Les perroquets sont aussi chassés pour leur chair, et les fermiers considèrent comme nuisibles certaines espèces mangeuses de graines. Les prédateurs domestiques comme les chats sont une menace constante, mais le facteur essentiel de disparition de ces oiseaux est la réduction de leur habitat naturel à cause des brûlis, de l'exploitation forestière et de l'urbanisation. La Commission de protection des espèces a donc annoncé un Plan d'action pour la sauvegarde des perroquets : étant donné l'insuffisance des données, le plan recommande la mise en œuvre d'une étude approfondie destinée à mieux identifier les menaces qui pèsent sur les perroquets, et propose des techniques pour leur sauvegarde dans le cadre de la destruction des habitats et du braconnage. Malheureusement, les intérêts économiques risquent de primer sur la mise en œuvre de telles mesures.

Le manchot est un oiseau massif, avec un cou court, un bec pointu et des pattes palmées. Ses ailes, très réduites, ne lui permettent absolument pas de voler, mais sont formidablement adaptées à la nage. Les manchots se nourrissent de poissons, de seiches, de crustacés et de mollusques. Maladroit et lent sur le sol où il se laisse volontairement glisser, le manchot est remarquablement agile et rapide dans l'eau. Ses ailes lui servent alors de nageoires, et ses pattes palmées de gouvernail. Pendant la saison de reproduction, ils se rassemblent en immenses colonies - plusieurs milliers de couples - sur des côtes désertes et escarpées. Ces colonies contiennent parfois différentes espèces de manchots, mais qui sont alors assez nettement séparées. Leurs sites de nidification peuvent être très difficiles d'accès, et éloignés de plusieurs kilomètres de l'océan. Les différentes espèces n'ont pas les mêmes nids. Certains creusent la glace ou les cailloux pour former un terrier bien protégé, tel le manchot de Humboldt et celui du Cap, d'autres forment un nid à l'aide de brindilles, à l'air libre, tel le manchot d'Adélie. Enfin, les manchots royaux et empereurs gardent leur unique œuf sur leurs pattes. De 30 à 50 jours sont nécessaires à l'éclosion. À la naissance, les petits sont recouverts d'un duvet gris. Les parents vont alors en mer pour chercher de la nourriture et la régurgitent pour leur petit. Lorsque le duvet tombe, le petit s'aventure en mer et doit, dès lors, se nourrir seul. La pêche industrielle intensive menace indirectement les manchots peuplant le

littoral du Sud de l'Afrique. Les manchots sont en concurrence avec ces industries dans la pêche des sardines et des anchois car la quantité de poisson disponible n'est tout simplement pas assez importante pour satisfaire à la fois les besoins des pêcheurs et des manchots. On estime qu'un quart de la population de manchots africains a disparu suite à la construction de nouveaux ports de pêche. Les manchots sont également menacés par les marées noires. Le trafic maritime incessant au large de la rivière Benguela a engendré de nombreux accidents impliquant des pétroliers. Des programmes visant à sauver les oiseaux touchés ont été développés, mais ils ont en règle générale difficilement fait face à l'ampleur des catastrophes.

La plupart des oiseaux migrateurs parviennent à leurs territoires de reproduction dans l'hémisphère Nord au début de l'été, attendant la naissance et la croissance de leurs poussins, puis prennent la direction du Sud pour échapper aux rigueurs de l'hiver. Leur mobilité rend l'étude de ces espèces difficile, et bien des données les concernant restent mystérieuses. Il existe de nombreux projets destinés à mieux les connaître, tels que pose de bagues et suivi par satellite. Jusqu'à maintenant, on se repose sur les observations des ornithologues amateurs, dont les échanges sont désormais facilités par l'Internet. Les principaux itinéraires de ces oiseaux ont pu être identifiés, mais certaines espèces changent parfois de parcours. La plupart comptent sur des escales reconnues où ils se reposent, se nourrissent et reprennent des forces pour la suite de leur migration. Les marécages constituent des haltes de prédilection. Malheureusement, bon nombre de ces territoires sont menacés : autour de la Méditerranée, ce sont les constructions qui détériorent ces terres, et, comme par exemple dans le parc naturel d'Ichkeul en Tunisie, certains marécages ne sont plus alimentés en eau douce. Avec le réchauffement de la planète et la réduction pluviométrique qu'il entraîne, il peut arriver que des oiseaux, au terme de leur long voyage, trouvent leur site de nidification à sec. Par ailleurs, la hausse du niveau de la mer due à la fonte des calottes glaciaires risque de submerger certains de ces territoires. Bon nombre d'oiseaux migrateurs n'arrivent jamais à destination : des millions d'entre eux sont abattus, surtout par les fermiers du Moyen Orient et d'Afrique, ou par des chasseurs en Europe Méridionale. S'ils échappent aux balles, il leur faut encore contourner les zones bâties et éviter de percuter gratte-ciel et lignes à haute tension. Fin du texte.

L'activité humaine a profondément transformé la planète au fil des siècles. Les méthodes modernes utilisées dans l'agriculture et l'aménagement des forêts ont entraîné des bouleversements profonds au niveau de la faune et de la flore. Les conséquences de l'activité humaine sur les oiseaux et les mammifères sont alarmantes. Le nombre total d'espèces vivantes a diminué et de nombreuses espèces ne subsistent plus que dans les réserves naturelles. Les mammifères de moyenne et grande taille sont les plus menacés par l'activité humaine. On estime qu'au moins 120 espèces de mammifères ont disparu ces deux derniers siècles. Les causes principales de la disparition de ces espèces sont la chasse, la pollution et la réduction de l'espace forestier. Fort heureusement, l'attitude des humains à l'égard des mammifères menacés d'extinction est en train d'évoluer. Les hommes font de plus en plus d'effort pour protéger les espèces menacées et leur habitat naturel. Les chauves-souris sont les seuls mammifères volants existants. La plupart sont insectivores, certaines se nourrissent de nectar et de fruits, participant ainsi à la pollinisation et à la dispersion des graines. Les vampires d'Amérique latine consomment du sang de grands mammifères. Ce sont des animaux nocturnes, qui fuient la chaleur du jour, le risque de déshydratation et se méfient des prédateurs. Ils naviguent dans le noir à l'aide d'une sorte de sonar, un système de réflexion des ondes sonores. Le jour, les chauves-souris juchent dans les arbres et les grottes, souvent en colonies de plus d'un million d'individus. Dans les zones urbaines, elles s'installent dans les bâtiments. On les rencontre dans les régions tempérées et tropicales, mais c'est près de l'équateur qu'elles sont le plus nombreuses. Celles qui passent l'été dans les régions tempérées hibernent ou migrent vers l'équateur en hiver. La plupart n'ont qu'un seul petit par an, ce qui fait qu'en cas de catastrophes, les populations se reconstituent difficilement. Ces mal-aimées sont en fait d'un grand secours pour l'homme. Elles participent à la régulation des populations d'insectes néfastes pour l'agriculture ou porteurs de maladies. Une seule chauve-souris peut tuer jusqu'à 20 000 insectes en une nuit. Leurs travers paraissent alors mineurs. Pourtant, les humains menacent ces espèces de diverses manières. Certaines chauves-souris, telle la roussette géante d'Asie du Sud-Est, sont chassées pour leur chair. D'autres, comme le noctilion bec-de-lièvre, se sont éteintes par endroits à la suite de l'introduction dans leur habitat insulaire de rats, de chats et de chiens

domestiques. Les mines, les dépôts de déchets et l'inconscience des touristes menacent les grottes où elles gîtent. Les chauves-souris subissent les conséquences de l'emprise de l'agriculture et de l'exploitation forestière sur leurs territoires. Par ailleurs, leur déclin incite les fermiers à utiliser plus de pesticides contre les insectes porteurs de maladies, ce qui, à son tour, risque d'empoisonner celles qui restent. Toutes les baleines sont des mammifères. Il leur faut remonter à la surface de l'eau pour respirer par les événements situés sur le dessus de leur tête. Certaines baleines, dont le cachalot, l'hypérodon arctique, la baleine à bec et le bélouga ont des dents et se nourrissent de poissons. D'autres, surtout la baleine grise, la baleine à bosse, la baleine franche et la baleine bleue, filtrent le plancton et le krill au travers de la rangée de longues lames cornées appelées fanons qui garnissent leur bouche. Certaines espèces se déplacent en groupes. Elles disposent d'un répertoire considérable de sons sous-marins : aboiements, sifflements, cris et murmures, ainsi que des claquements à haute fréquence pour la navigation et le repérage de nourriture. La baleine peut être exploitée commercialement pour sa viande, sa graisse, ses os, et l'ambre qu'on utilise en parfumerie. Des centaines d'années de chasse avec des méthodes progressivement plus efficaces ont mené à la quasi-extinction de certaines espèces, en particulier de la baleine bleue. La Commission baleinière internationale, créée en 1946, tente d'instaurer des mesures qui protègent à la fois les baleines et les moyens d'existence des pêcheurs spécialisés. Elle a d'abord imposé des quotas pour donner aux populations de baleines une chance de se reconstituer, puis a fixé, en 1983, un moratoire temporaire sur le commerce baleinier devant prendre effet en 1986. Malgré le relatif échec de ces mesures, le nombre de baleines tuées a diminué, et certaines espèces, telles que la baleine grise ou la baleine à bosse, ont recommencé à se reproduire. Certains peuples, pour lesquels la pêche à la baleine joue un rôle clé dans l'économie tout en fournissant un élément essentiel du mode de nourriture, sont exemptés de l'interdiction de pêche. Ainsi, au Groenland, on chasse le rorqual et l'épaulard, en Sibérie la baleine grise. Le développement gêne les baleines dans la mesure où leurs lieux de reproduction et de mise bas sont souvent situés dans des eaux peu profondes le long des côtes. Mais leur observation constitue désormais une attraction touristique prisée dans les zones dont l'économie dépendait jadis de leur pêche. C'est

aussi une activité qui permet de développer la connaissance qu'on doit avoir de ces animaux et d'influencer les gouvernements pour qu'ils continuent à les protéger. Les populations de grands singes diminuent dramatiquement. L'étude des sociétés et des comportements de nos plus proches parents risque fort de ne pouvoir bientôt se mener que dans les zoos. Parmi les primates, les grands singes (gorilles, chimpanzés, bonobos et orangs-outans) sont au bord d'une extinction que d'aucuns annoncent déjà comme inévitable. Il s'agit en effet d'animaux de grande taille, donc présentant des densités faibles. En outre, leur rythme de reproduction est particulièrement lent. Enfin, la plupart des espèces sont inféodées à la forêt, notamment à la forêt tropicale, un des milieux naturels dont la destruction est le plus rapide. La disparition des grands singes serait une catastrophe d'une gravité particulière, car il s'agit d'animaux dont nous avons encore beaucoup à apprendre concernant notre propre nature et nos origines : les hommes partagent avec les chimpanzés 99% de leurs gènes. Or cela ne fait qu'une trentaine d'années que les relations au sein des sociétés de grands singes sont étudiées. Les rapports sociaux qui ont été dévoilés par les chercheurs sont véritablement passionnants, basés sur des systèmes complexes d'alliances, de fidélité et de trahison. De véritables stratégies individuelles ont été découvertes, et des scientifiques ont décrit l'existence de personnalités subtiles et différenciées. La création de zones protégées est une urgence absolue. Il reste moins de 45 000 gorilles, dont 300 individus seulement du gorille des montagnes, la plus menacée, qui vit en République démocratique du Congo, au Rwanda et en Ouganda. Les bonobos, des cousins des chimpanzés aux mœurs étonnantes et aux relations sociales particulièrement sophistiquées, ne sont plus que 13 000. Emblème par excellence de la nature sauvage, le tigre disparaît malgré toutes les mesures de protection dont il fait en principe l'objet. Un constat peu rassurant pour les autres espèces. Au début du siècle dernier, 300 000 tigres peuplaient une vaste aire de répartition allant de la mer Caspienne à l'Extrême-Orient. Ils n'étaient plus que 100 000 en 1945 et 15 000 en 1970. Les effectifs actuels sont estimés entre 5000 et 7500 individus. Le tigre cumule les handicaps. Son statut de grand carnivore, occasionnellement mangeur d'hommes, ne risque pas de lui valoir la sympathie des populations locales. Ses besoins nutritifs sont importants, alors que la chasse et les activités humaines réduisent la quantité de gibier

à sa disposition. Il vit principalement en forêt, un milieu qui se réduit comme peau de chagrin. Sa fourrure exceptionnelle reste très convoitée. Mais, surtout, il est devenu l'animal fétiche de la médecine traditionnelle chinoise, qui compte un milliard d'adeptes dans le monde. Pratiquement chaque partie de son corps (sang, cerveau, testicules, queue, estomac...) est censée jouer un rôle thérapeutique, l'os étant le plus prisé. Une carcasse de tigre, sur place, vaut quelque 6 000 dollars ; et ses différents constituants, une fois commercialisés, peuvent en rapporter 5 millions ! Or, le revenu des paysans asiatiques qui partagent l'habitat du tigre excède rarement les 10 dollars par mois. Dans ces conditions, le prix d'un tigre est une incitation permanente au braconnage, que les Etats ne sont jamais parvenus à éradiquer, surtout quand il est « contrôlé » par des autorités locales corrompues par le grand banditisme. Sauver le tigre suppose une politique énergique (et coûteuse), visant à éradiquer le trafic clandestin, et s'appuyant sur les populations locales qu'il est vital d'intéresser à la préservation de l'espèce. Le déclin du tigre est particulièrement inquiétant, car il illustre l'incapacité manifeste de l'humanité à enrayer la disparition des espèces. Il est en effet difficile d'imaginer animal plus célèbre et admiré que le tigre : d'innombrables livres et films lui ont été consacrés, des campagnes internationales coûteuses ont été menées en sa faveur et sa popularité quasi universelle devrait en faire une cause facile à défendre. Les ours se classent parmi les plus grands carnivores. En général, ils vivent en solitaires, sauf à la saison des amours. Ce sont d'excellents nageurs et les plus petits sont bons grimpeurs. La chasse à l'ours s'explique à la fois par la peur qu'il inspire et par le profit à tirer du commerce de sa fourrure et de sa viande. D'une part, les ours deviennent nuisibles quand leur territoire empiète sur des terres cultivées, et d'autre part, les braconniers les traquent pour la vente de certaines parties de leur dépouille ou pour les capturer vivants pour le marché des animaux de compagnie et de spectacle. Enfin, la médecine traditionnelle chinoise utilise la vésicule biliaire des ours contre les maladies du foie. L'habitat de l'ours s'est souvent restreint, ce qui a fragmenté les populations au risque d'en arriver localement à l'extinction complète. Les groupes d'ours insulaires sont par ailleurs menacés d'affaiblissement génétique. En Amérique du Nord et dans l'Arctique, des politiques sophistiquées de protection et de gestion de la chasse ont permis de maintenir

les espèces d'ours qui y vivent, même si actuellement la pollution et le réchauffement de la planète créent des problèmes supplémentaires. En Asie et en Amérique latine où ces politiques sont moins fréquentes, la population sans cesse croissante repousse de plus en plus les ours hors de leur territoire. Les « corridors » ménagés entre les réserves permettent aux ours de s'accoupler en évitant toute consanguinité. Les programmes de reproduction en captivité semblent là aussi constituer un espoir. Toutefois, alors que 100 pandas géants se trouvent actuellement dans des zoos, la fécondité de ces animaux en captivité est malheureusement encore plus basse que dans la nature. Les oiseaux sont des vertébrés à sang chaud : grâce à un squelette composé d'os creux, à leurs ailes et à leurs plumes, la plupart d'entre eux volent. En 2000, on considérait que 12% des espèces connues, soit plus de 1000, étaient menacées. Leur habitat est principalement menacé par l'exploitation forestière, l'agriculture intensive et le développement en général, qui introduit de nouveaux prédateurs et des maladies inconnues. Même les chats domestiques, si on les laisse en liberté, peuvent tuer des centaines de petits oiseaux chaque année. Chasse et braconnage nuisent aussi à de nombreuses espèces. La plupart des perroquets vivent dans la forêt tropicale. Ils ne peuvent pas voler sur de longues distances. Certaines espèces insulaires sont donc réduites à leur petit territoire, ce qui les rend particulièrement vulnérables. 95 espèces de perroquets sont considérées comme menacées, une proportion qu'aucune autre grande famille d'oiseaux n'atteint. Aux Antilles, on pense qu'au moins 16 espèces ont été décimées par des explorateurs européens, et l'amazone de Porto Rico est en danger d'extinction. Les perroquets, surtout le gris d'Afrique et l'Amazone, sont d'excellents imitateurs. Ce talent, allié à leur naturel aimable et leur plumage coloré, en fait des animaux domestiques appréciés ainsi que des pensionnaires de zoos prisés, surtout en Europe et au Japon. Certains pays, tels que le Mexique ou l'Australie, interdisent l'exportation des perroquets pour en préserver les populations sauvages. Mais ce commerce, tant légal qu'illégal, demeure florissant, menaçant la survie des espèces vivant dans la nature. Le braconnage à lui seul touche 39 espèces et tue plus d'oiseaux que les causes naturelles. Les perroquets sont aussi chassés pour leur chair, et les fermiers considèrent comme nuisibles certaines espèces mangeuses de graines. Les prédateurs domestiques comme les chats sont une menace constante, mais le facteur

essentiel de disparition de ces oiseaux est la réduction de leur habitat naturel à cause des brûlis, de l'exploitation forestière et de l'urbanisation. La Commission de protection des espèces a donc annoncé un Plan d'action pour la sauvegarde des perroquets : étant donné l'insuffisance des données, le plan recommande la mise en œuvre d'une étude approfondie destinée à mieux identifier les menaces qui pèsent sur les perroquets, et propose des techniques pour leur sauvegarde dans le cadre de la destruction des habitats et du braconnage. Malheureusement, les intérêts économiques risquent de primer sur la mise en œuvre de telles mesures. Le manchot est un oiseau massif, avec un cou court, un bec pointu et des pattes palmées. Ses ailes, très réduites, ne lui permettent absolument pas de voler, mais sont formidablement adaptées à la nage. Les manchots se nourrissent de poissons, de seiches, de crustacés et de mollusques. Maladroit et lent sur le sol où il se laisse volontairement glisser, le manchot est remarquablement agile et rapide dans l'eau. Ses ailes lui servent alors de nageoires, et ses pattes palmées de gouvernail. Pendant la saison de reproduction, ils se rassemblent en immenses colonies - plusieurs milliers de couples - sur des côtes désertes et escarpées. Ces colonies contiennent parfois différentes espèces de manchots, mais qui sont alors assez nettement séparées. Leurs sites de nidification peuvent être très difficiles d'accès, et éloignés de plusieurs kilomètres de l'océan. Les différentes espèces n'ont pas les mêmes nids. Certains creusent la glace ou les cailloux pour former un terrier bien protégé, tel le manchot de Humboldt et celui du Cap, d'autres forment un nid à l'aide de brindilles, à l'air libre, tel le manchot d'Adélie. Enfin, les manchots royaux et empereurs gardent leur unique œuf sur leurs pattes. De 30 à 50 jours sont nécessaires à l'éclosion. À la naissance, les petits sont recouverts d'un duvet gris. Les parents vont alors en mer pour chercher de la nourriture et la régurgitent pour leur petit. Lorsque le duvet tombe, le petit s'aventure en mer et doit, dès lors, se nourrir seul. La pêche industrielle intensive menace indirectement les manchots peuplant le littoral du Sud de l'Afrique. Les manchots sont en concurrence avec ces industries dans la pêche des sardines et des anchois car la quantité de poisson disponible n'est tout simplement pas assez importante pour satisfaire à la fois les besoins des pêcheurs et des manchots. On estime qu'un quart de la population de manchots africains a disparu suite à la construction de nouveaux ports de pêche. Les manchots sont

également menacés par les marées noires. Le trafic maritime incessant au large de la rivière Benguela a engendré de nombreux accidents impliquant des pétroliers. Des programmes visant à sauver les oiseaux touchés ont été développés, mais ils ont en règle générale difficilement fait face à l'ampleur des catastrophes. La plupart des oiseaux migrateurs parviennent à leurs territoires de reproduction dans l'hémisphère Nord au début de l'été, attendant la naissance et la croissance de leurs poussins, puis prennent la direction du Sud pour échapper aux rigueurs de l'hiver. Leur mobilité rend l'étude de ces espèces difficile, et bien des données les concernant restent mystérieuses. Il existe de nombreux projets destinés à mieux les connaître, tels que pose de bagues et suivi par satellite. Jusqu'à maintenant, on se repose sur les observations des ornithologues amateurs, dont les échanges sont désormais facilités par l'Internet. Les principaux itinéraires de ces oiseaux ont pu être identifiés, mais certaines espèces changent parfois de parcours. La plupart comptent sur des escales reconnues où ils se reposent, se nourrissent et reprennent des forces pour la suite de leur migration. Les marécages constituent des haltes de prédilection. Malheureusement, bon nombre de ces territoires sont menacés : autour de la Méditerranée, ce sont les constructions qui détériorent ces terres, et, comme par exemple dans le parc naturel d'Ichkeul en Tunisie, certains marécages ne sont plus alimentés en eau douce. Avec le réchauffement de la planète et la réduction pluviométrique qu'il entraîne, il peut arriver que des oiseaux, au terme de leur long voyage, trouvent leur site de nidification à sec. Par ailleurs, la hausse du niveau de la mer due à la fonte des calottes glaciaires risque de submerger certains de ces territoires. Bon nombre d'oiseaux migrateurs n'arrivent jamais à destination : des millions d'entre eux sont abattus, surtout par les fermiers du Moyen Orient et d'Afrique, ou par des chasseurs en Europe Méridionale. S'ils échappent aux balles, il leur faut encore contourner les zones bâties et éviter de percuter gratte-ciel et lignes à haute tension. Fin du texte.

Annexe 8 : Trois versions du texte expérimental sur les questions énergétiques
utilisé dans l'expérience 3

ENJEUX ENERGETIQUES

Depuis la Révolution Industrielle, les pays industrialisés sont devenus de plus en plus dépendants de la production d'énergie pour maintenir leur économie et leur niveau de vie. Les sources primaires d'énergie sont les combustibles fossiles (pétrole, charbon et gaz naturel), et depuis peu le nucléaire. Les combustibles fossiles partagent plusieurs caractéristiques importantes qui ont contribué à les établir comme sources privilégiées d'énergie (ressources abondantes et transportables). Ces dernières années, cependant, nous avons été témoins de certaines des limitations des combustibles fossiles et du nucléaire.

I. LES DEGATS CAUSES À L'ENVIRONNEMENT

A cause de la recherche d'une énergie peu coûteuse et abondante, et de la dépendance aux combustibles fossiles et nucléaires que cela a créé, nous sommes maintenant confrontés à d'immenses problèmes environnementaux. L'utilisation massive des combustibles fossiles et du nucléaire menace notre environnement de nombreuses façons. Nous commençons à peine à comprendre l'ampleur des problèmes environnementaux que nous avons créés. Certains des problèmes majeurs liés à l'utilisation des combustibles fossiles vont être examinés ici.

1. L'effet de serre

La plus grande menace pesant sur la planète est peut être le réchauffement de la planète dû à l'effet de serre. L'effet de serre se produit quand certains gaz, en particulier le dioxyde de carbone, emprisonnent de la chaleur qui devrait normalement s'échapper dans l'espace. Le niveau de dioxyde de carbone a augmenté de plus de 23% comparé à celui d'avant la Révolution Industrielle et il continue de s'accroître d'environ 0,8 % par an. Comme ce niveau augmente, de plus en plus de chaleur est emprisonnée et les températures à l'échelle de la planète augmentent. En France, les émissions de gaz à effet de serre proviennent des transports pour 26 %, suivis de l'industrie (22 %), de l'agriculture (19 %), des bâtiments et habitations (19 %), de la production et de la transformation de l'énergie (13 %), et du traitement des déchets (3 %). Depuis 1990, les émissions ont augmenté de plus de 20 % pour les transports et les bâtiments. En revanche, elles ont diminué de 22 % dans l'industrie, de 10 % dans le secteur agricole, de 9 % dans le secteur de l'énergie et de 8 % pour le traitement des déchets. Un réchauffement important de la planète provoquerait d'abord une augmentation mécanique du volume d'eau de

mer par dilatation et par la fonte des calottes polaires, qui engloutirait les terres basses (les îles coralliennes et les îles Maldives sont les premières menacées). Un réchauffement important mettrait également en péril de nombreuses espèces dont peut-être, par acidification des océans, le phytoplancton qui produit 80 % de l'oxygène que nous respirons et qui absorbe l'essentiel du dioxyde de carbone dissous dans l'eau de mer (le CO₂ est 60 fois plus présent dans la mer que dans l'air). D'autres conséquences sont attendues, dont une augmentation de la pluviométrie, et la modification des courants marins, ce qui modifierait aussi le niveau moyen des mers avec des conséquences potentiellement désastreuses. Les scientifiques prévoient une augmentation de 1,5 °C à 6 °C pour le siècle à venir en supposant que l'augmentation des rejets de gaz à effet de serre continue au rythme des 20 dernières années (on n'a pas observé de ralentissement global des émissions, même depuis le protocole de Kyoto). Un arrêt total et immédiat des rejets de carbone n'empêcherait cependant pas la température moyenne de la planète de continuer à augmenter pendant plusieurs dizaines à centaines d'années, car certains gaz à effet de serre ne disparaissent de l'atmosphère que très lentement.

2. Les pluies acides

Les pluies acides peuvent avoir des effets dévastateurs sur l'écologie des lacs et des forêts. Lorsqu'on brûle des combustibles fossiles, des composés de nitrogène et des sulfates sont lâchés dans l'atmosphère. Ces particules retournent à la terre sous forme de pluie au niveau d'acidité élevé. Une étude des lacs de montagnes, dans les chaînes Adirondacks, Poconos et Catskill situées dans le Nord-Est des Etats-Unis, indique que les pluies acides qui affectent ces lacs ont peut-être causé la disparition de 69% des sangsues, 45% des insectes, 50% des mollusques et 18% des crustacés. On ne sait pas encore si de tels effets sont réversibles. Une étude importante sur les épicéas dans une forêt d'Allemagne montre également les effets nuisibles des pluies acides. Il y a environ 15 ans, on a observé, dans une forêt bavaroise d'altitude élevée, un jaunissement maladif des aiguilles de certains groupes d'épicéas au printemps. Au cours des deux années qui suivirent, cette maladie s'est étendue et aggravée, et elle a augmenté la mortalité des arbres dans les forêts allemandes. Une étude minutieuse des causes de cette dévastation a montré que les pluies acides entraînaient un déséquilibre chimique de l'écosystème en acidifiant le sol. Les changements dans le sol amenaient le développement graduel de déficiences graves des nutriments essentiels pour les arbres. Ceci rendait les arbres plus

sensibles aux pesticides et aux climats extrêmes, ce qui a entraîné la perte d'un grand nombre d'arbres en l'espace de moins de 10 ans.

3. Les déchets radioactifs

Les centrales nucléaires produisent des dizaines de milliers de tonnes de déchets radioactifs, dont certains sont dangereux pour des milliers voire des millions d'années. Aujourd'hui, il n'existe aucune solution pour éliminer les déchets nucléaires. Seul le temps permet de voir diminuer la radioactivité. Pour l'instant, la seule solution envisagée consiste à stocker et à attendre, par exemple plusieurs dizaines de milliers d'années pour le plutonium! Le problème est d'importance. Une bonne idée de l'étendue du problème est donnée par l'exemple de l'Usine Pilote d'Isolation des déchets près de Carlsbad au Nouveau-Mexique, qui a coûté 3,8 milliards de francs. Il s'agit du projet d'un site considérable consacré au stockage des déchets radioactifs qui proviennent des usines d'armement nucléaire du pays. L'Usine Pilote d'Isolation des Déchets comprend 56 cavités taillées dans des dépôts de sel qui se trouvent à 640 mètres sous terre. Elle a été conçue pour que les cavités en sel s'effondrent lentement et encapsulent les déchets pour les cents années à venir. Actuellement, on mène des tests afin de déterminer si cette installation rentrera dans les normes de l'Agence pour la Protection de l'Environnement concernant le stockage des déchets nucléaires. Deux inquiétudes graves ont émergé. L'une est que les lits de sel sont plus saturés en eau qu'on ne le supposait au départ. Si les cavités s'affaissent trop lentement, l'eau pourrait se mettre à les remplir et à attaquer l'acier des barils qui contiennent les déchets. Un autre problème est que le gaz généré par les déchets pourrait faire augmenter la pression et agrandir des fissures dans le sel. Ceci donnerait aux déchets une porte de sortie vers la surface, ou vers des nappes d'eau souterraines avoisinantes.

II. LES ENERGIES RENOUVELABLES

On s'est appuyé sur les combustibles fossiles depuis la Révolution Industrielle et sur le nucléaire depuis les années 50. On n'est maintenant que trop conscient des limitations de ces sources d'énergie. Il y a beaucoup d'alternatives à l'utilisation des combustibles fossiles et du nucléaire qui n'ont pas encore été exploitées. Il est clair que nous devons réduire notre dépendance aux sources traditionnelles d'énergie, autant à cause des risques

sur l'environnement et la santé, que de l'épuisement des réserves naturelles. Plusieurs de ces sources de remplacement vont être décrites ici.

1. L'énergie solaire

Bien que le soleil ait toujours été la source fondamentale de presque toute l'énergie terrestre, c'était des centrales qui jusqu'à très récemment s'occupaient de capter son énergie, à travers le bois, le charbon, le gaz naturel et le pétrole. Le développement de techniques pour rassembler, stocker et distribuer de manière directe l'énergie du soleil a été retardé par l'utilisation, moins coûteuse, de combustibles fossiles et du nucléaire. Beaucoup de foyers utilisent l'énergie solaire pour le chauffage et la climatisation. Face à l'embargo du Moyen-Orient sur le pétrole pendant les années 70, plus de fonds ont été consacrés à la recherche d'autres sources d'énergie, en particulier l'énergie solaire. Il y a des avantages évidents. Le charbon est salissant, le pétrole et le gaz naturel deviennent de plus en plus rares, et le nucléaire est dangereux. Au contraire, l'énergie solaire est sûre, propre, abondante et gratuite. De plus le chauffage et la climatisation par le soleil n'exigent pas qu'on transporte l'énergie à des milliers de kilomètres, et donc on évite la perte d'énergie, les coûts supplémentaires, l'imprévisibilité et la dépendance à de vastes réseaux d'énergie. Le grand problème avec l'énergie solaire est que les techniques actuelles ne sont pas encore très efficaces. L'énergie solaire est diffuse et doit donc être rassemblée. Elle est de plus intermittente, et il faut la stocker. Si la lumière solaire ne coûte rien la technique pour la concentrer et la stocker, en revanche, est coûteuse. A petite échelle cela pose peu de problèmes. A grande échelle, cette technologie est extrêmement coûteuse.

2. L'énergie géothermique

L'énergie géothermique est dérivée de la chaleur naturelle de la terre, dont le centre en fusion peut atteindre, selon des estimations, jusqu'à 7200 degrés. Cette source stable de chaleur promet d'être une source d'énergie précieuse dans le futur, mais actuellement les formes les plus aisément accessibles d'énergie géothermique sont les poches d'eau chaude et de vapeur retenues près de la surface. Ces réservoirs se trouvent souvent dans des régions qui ont eu une activité volcanique, et ils peuvent se manifester par des sources chaudes, des geysers, des cheminées de vapeur, ou ne montrer aucun signe apparent.

La première centrale géothermique a été construite en Italie en 1913. Depuis, l'Union Soviétique, l'Islande, la Hongrie et la Nouvelle-Zélande ont développé ces centrales. Evidemment ces pays sont tous dotés de nombreuses réserves accessibles d'énergie géothermique. Les Etats-Unis ont la centrale géothermique la plus grande au monde, située au Nord de la Californie. Cependant c'est la seule de ce type dans le pays. L'énergie géothermique a de bons arguments en sa faveur. Les ressources sont abondantes. Les systèmes qui utilisent le gradient de la chaleur naturelle de la Terre ont un potentiel énergétique virtuellement illimité. Les centrales géothermiques sont aussi relativement faciles à mettre en place. Elles peuvent être opérationnelles en juste deux ans, contre cinq ans pour les installations pour combustibles fossiles et 10 ans pour les centrales nucléaires. Il y a également des inconvénients. L'exploitation des réservoirs d'énergie géothermique est souvent impraticable parce qu'ils sont situés trop loin des principaux regroupements de population. Les centrales d'énergie géothermique rejettent de nombreux polluants à cause du traitement de l'eau et la vapeur chargées de minéraux. Elles rejettent aussi deux fois plus de chaleur dans l'atmosphère que les centrales nucléaires et sont assez bruyantes. Elles ne sont absolument pas infaillibles. On sait que des explosions de puits ont été incontrôlables pendant plusieurs jours. Le pompage et la réinjection de fluides thermiques peuvent provoquer des tremblements de terre. Enfin, le forage est coûteux.

3. L'énergie marémotrice

Les moulins alimentés par les marées des océans ont existé sur les côtes françaises depuis le XIIIe siècle. La première centrale basée sur l'énergie marémotrice a été construite en 1967, toujours en France. Il s'agit d'un immense barrage comprenant une centrale hydroélectrique à l'intérieur. Quand la marée montante arrive, l'eau passe par les portes du barrage et remplit un bassin se trouvant derrière celui-ci. Lorsque l'eau traverse les portes, cela active les alternateurs hydroélectriques et produit de l'électricité. Quand les portes du barrages sont fermées, de grandes masses d'eau restent prisonnières du bassin situé derrière le barrage jusqu'à ce que le niveau de l'eau soit plus haut que du côté de l'océan. A ce moment-là, on ré-ouvre les portes et l'eau repart des turbines vers la mer. Donc, de l'électricité est générée chaque fois que l'eau traverse le barrage. Ces installations ont les mêmes avantages que les autres types de centrales hydroélectriques. Elles n'ont pas besoin d'une source externe de combustible. De

plus leur fonctionnement est essentiellement non-polluant. L'énergie marémotrice est donc logiquement une source d'énergie renouvelable et naturelle. La limite la plus importante est qu'il existe peu de zones où cela est réalisable. Ces centrales doivent être situées dans des baies ou des criques étroites, et où il y a de grands écarts entre les marées, afin de produire de l'électricité de manière compétitive. En fait, il n'existe que 15 sites au monde où cela serait possible. Et à ces endroits les centrales pourraient représenter une menace pour l'écologie marine. La construction de barrages massifs pourrait être perturbatrice. De plus, le fonctionnement ultérieur des barrages pourrait interférer avec le cycle normal des marées et donc avec les cycles de vie de certains organismes marins.

4. L'énergie éolienne

Des milliers d'éoliennes fonctionnent à l'heure actuelle dans diverses régions du monde, avec une capacité totale de plus de 58 982 MW, et l'Europe y prend part à 69 %. L'Allemagne est le premier producteur mondial d'électricité éolienne. Ce pays disposait de 18 428 MW de puissance installée à la fin de l'année 2005. L'Espagne est le deuxième producteur mondial avec 10 027 MW. Fin 2005, en troisième position, les États-Unis avaient une puissance installée de 9 149 MW. La France était en 2005 le 9^e producteur d'énergie éolienne en Europe avec 757 MW. À titre de comparaison, la puissance installée en énergie nucléaire est de 21 000 MW en Allemagne, de 63 000 MW en France et de 98 000 MW aux États-Unis. Selon l'Observatoire des Energies Renouvelables, dans un rapport publié par EDF, l'éolien est actuellement la filière énergétique la plus dynamique dans le monde et plus particulièrement dans l'Union européenne où la production d'électricité éolienne a augmenté de 37,8 % par an en moyenne de 1993 jusqu'en 2002. Pendant des siècles, l'énergie éolienne a été utilisée pour fournir un travail mécanique. L'exemple le plus connu est le moulin à vent utilisé par le meunier pour la transformation du blé en farine. Par la suite, pendant plusieurs décennies, l'énergie éolienne a servi à produire de l'énergie électrique dans des endroits reculés et donc non-connectés à un réseau électrique. Des installations sans stockage d'énergie impliquaient que le besoin en énergie et la présence d'énergie éolienne soient simultanés. La maîtrise du stockage d'énergie par batteries a permis de stocker cette énergie et ainsi de l'utiliser sans présence de vent, ce type d'installation ne concernant que des besoins domestiques, non appliqués à l'industrie. Depuis les années 90, l'amélioration de la technologie des éoliennes a permis de

construire des aérogénérateurs de plus de 1 MW. Ces unités se sont démocratisées et on en retrouve aujourd'hui dans plusieurs pays. Une éolienne raccordée au réseau se doit donc de fournir cette fréquence quelque soit la vitesse du vent. Cette fréquence constante passe par une vitesse de rotation constante des pales. Cette dernière est obtenue par régulation notamment avec l'orientation des pales. Si la vitesse du vent est trop faible (par exemple moins de 10 km/h), l'éolienne s'arrête en raison des forces de frottement sec qui s'opposent à la rotation de l'hélice. Cette diminution de la vitesse de rotation ne permet plus de fournir cette fréquence. Dans ce cas, l'éolienne n'est donc plus productrice d'électricité, mais pourrait au contraire devenir consommatrice, il est donc nécessaire de la déconnecter.

5. L'énergie océano-thermique

Une centrale basée sur l'énergie océano-thermique est en fait un grand moteur marchant à la chaleur, construit soit sur une plate-forme sur l'océan, soit sur la côte. La centrale fonctionne en extrayant une partie de l'énergie solaire emmagasinée à la surface de l'eau des océans tropicaux. Les premières centrales étaient conçues pour exploiter les 40 degrés de température de différence entre la surface de l'océan et les courants arctiques froids passant bien en dessous. Des projets plus récents utilisent l'eau de la surface pour vaporiser un gaz comme l'ammoniac ou le propane. La vapeur chimique fait tourner une turbine pour générer de l'énergie. Les centrales à énergie océano-thermique présentent plusieurs avantages. Comme elles utilisent l'énergie solaire, elles ne requièrent pas de combustion pour générer l'électricité et donc ne produisent pas de polluants. Contrairement aux autres techniques de production d'énergie solaire, il n'y a pas besoin de collecteurs ou d'unités de stockage d'énergie ; l'océan remplit ces deux fonctions. De plus ces centrales peuvent fonctionner presque en continu. Un volume d'énergie immense est convertible sans danger de diminution de ces ressources renouvelables. Cette méthode présente aussi des inconvénients qui ont freiné son expansion. Comme la génération d'énergie océano-thermique doit se faire grâce à des océans tropicaux, cette source d'énergie n'est pas à même d'alimenter les Etats-Unis. Même si aucune technique fondamentalement nouvelle n'est requise, des problèmes d'épuisement existent. De très longs tuyaux, jusqu'à 1200 mètres de long, devraient être installés dans l'océan. De plus les conséquences environnementales des opérations océano-thermiques sont peu connues. Fin du texte.

Depuis la Révolution Industrielle, les pays industrialisés sont devenus de plus en plus dépendants de la production d'énergie pour maintenir leur économie et leur niveau de vie. Les sources primaires d'énergie sont les combustibles fossiles (pétrole, charbon et gaz naturel), et depuis peu le nucléaire. Les combustibles fossiles partagent plusieurs caractéristiques importantes qui ont contribué à les établir comme sources privilégiées d'énergie (ressources abondantes et transportables). Ces dernières années, cependant, nous avons été témoins de certaines des limitations des combustibles fossiles et du nucléaire.

A cause de la recherche d'une énergie peu coûteuse et abondante, et de la dépendance aux combustibles fossiles et nucléaires que cela a créé, nous sommes maintenant confrontés à d'immenses problèmes environnementaux. L'utilisation massive des combustibles fossiles et du nucléaire menace notre environnement de nombreuses façons. Nous commençons à peine à comprendre l'ampleur des problèmes environnementaux que nous avons créés. Certains des problèmes majeurs liés à l'utilisation des combustibles fossiles vont être examinés ici.

La plus grande menace pesant sur la planète est peut être le réchauffement de la planète dû à l'effet de serre. L'effet de serre se produit quand certains gaz, en particulier le dioxyde de carbone, emprisonnent de la chaleur qui devrait normalement s'échapper dans l'espace. Le niveau de dioxyde de carbone a augmenté de plus de 23% comparé à celui d'avant la Révolution Industrielle et il continue de s'accroître d'environ 0,8 % par an. Comme ce niveau augmente, de plus en plus de chaleur est emprisonnée et les températures à l'échelle de la planète augmentent. En France, les émissions de gaz à effet de serre proviennent des transports pour 26 %, suivis de l'industrie (22 %), de l'agriculture (19 %), des bâtiments et habitations (19 %), de la production et de la transformation de l'énergie (13 %), et du traitement des déchets (3 %). Depuis 1990, les émissions ont augmenté de plus de 20 % pour les transports et les bâtiments. En revanche, elles ont diminué de 22 % dans l'industrie, de 10 % dans le secteur agricole, de 9 % dans le secteur de l'énergie et de 8 % pour le traitement des déchets. Un réchauffement important de la planète provoquerait d'abord une augmentation mécanique du volume d'eau de

mer par dilatation et par la fonte des calottes polaires, qui engloutirait les terres basses (les îles coralliennes et les îles Maldives sont les premières menacées). Un réchauffement important mettrait également en péril de nombreuses espèces dont peut-être, par acidification des océans, le phytoplancton qui produit 80 % de l'oxygène que nous respirons et qui absorbe l'essentiel du dioxyde de carbone dissous dans l'eau de mer (le CO₂ est 60 fois plus présent dans la mer que dans l'air). D'autres conséquences sont attendues, dont une augmentation de la pluviométrie, et la modification des courants marins, ce qui modifierait aussi le niveau moyen des mers avec des conséquences potentiellement désastreuses. Les scientifiques prévoient une augmentation de 1,5 °C à 6 °C pour le siècle à venir en supposant que l'augmentation des rejets de gaz à effet de serre continue au rythme des 20 dernières années (on n'a pas observé de ralentissement global des émissions, même depuis le protocole de Kyoto). Un arrêt total et immédiat des rejets de carbone n'empêcherait cependant pas la température moyenne de la planète de continuer à augmenter pendant plusieurs dizaines à centaines d'années, car certains gaz à effet de serre ne disparaissent de l'atmosphère que très lentement.

Les pluies acides peuvent avoir des effets dévastateurs sur l'écologie des lacs et des forêts. Lorsqu'on brûle des combustibles fossiles, des composés de nitrogène et des sulfates sont lâchés dans l'atmosphère. Ces particules retournent à la terre sous forme de pluie au niveau d'acidité élevé. Une étude des lacs de montagnes, dans les chaînes Adirondacks, Poconos et Catskill situées dans le Nord-Est des Etats-Unis, indique que les pluies acides qui affectent ces lacs ont peut-être causé la disparition de 69% des sangsues, 45% des insectes, 50% des mollusques et 18% des crustacés. On ne sait pas encore si de tels effets sont réversibles. Une étude importante sur les épicéas dans une forêt d'Allemagne montre également les effets nuisibles des pluies acides. Il y a environ 15 ans, on a observé, dans une forêt bavaroise d'altitude élevée, un jaunissement maladif des aiguilles de certains groupes d'épicéas au printemps. Au cours des deux années qui suivirent, cette maladie s'est étendue et aggravée, et elle a augmenté la mortalité des arbres dans les forêts allemandes. Une étude minutieuse des causes de cette dévastation a montré que les pluies acides entraînaient un déséquilibre chimique de l'écosystème en acidifiant le sol. Les changements dans le sol amenaient le développement graduel de déficiences graves des nutriments essentiels pour les arbres. Ceci rendait les arbres plus

sensibles aux pesticides et aux climats extrêmes, ce qui a entraîné la perte d'un grand nombre d'arbres en l'espace de moins de 10 ans.

Les centrales nucléaires produisent des dizaines de milliers de tonnes de déchets radioactifs, dont certains sont dangereux pour des milliers voire des millions d'années. Aujourd'hui, il n'existe aucune solution pour éliminer les déchets nucléaires. Seul le temps permet de voir diminuer la radioactivité. Pour l'instant, la seule solution envisagée consiste à stocker et à attendre, par exemple plusieurs dizaines de milliers d'années pour le plutonium! Le problème est d'importance. Une bonne idée de l'étendue du problème est donnée par l'exemple de l'Usine Pilote d'Isolation des déchets près de Carlsbad au Nouveau-Mexique, qui a coûté 3,8 milliards de francs. Il s'agit du projet d'un site considérable consacré au stockage des déchets radioactifs qui proviennent des usines d'armement nucléaire du pays. L'Usine Pilote d'Isolation des Déchets comprend 56 cavités taillées dans des dépôts de sel qui se trouvent à 640 mètres sous terre. Elle a été conçue pour que les cavités en sel s'effondrent lentement et encapsulent les déchets pour les cents années à venir. Actuellement, on mène des tests afin de déterminer si cette installation rentrera dans les normes de l'Agence pour la Protection de l'Environnement concernant le stockage des déchets nucléaires. Deux inquiétudes graves ont émergé. L'une est que les lits de sel sont plus saturés en eau qu'on ne le supposait au départ. Si les cavités s'affaissent trop lentement, l'eau pourrait se mettre à les remplir et à attaquer l'acier des barils qui contiennent les déchets. Un autre problème est que le gaz généré par les déchets pourrait faire augmenter la pression et agrandir des fissures dans le sel. Ceci donnerait aux déchets une porte de sortie vers la surface, ou vers des nappes d'eau souterraines avoisinantes.

On s'est appuyé sur les combustibles fossiles depuis la Révolution Industrielle et sur le nucléaire depuis les années 50. On n'est maintenant que trop conscient des limitations de ces sources d'énergie. Il y a beaucoup d'alternatives à l'utilisation des combustibles fossiles et du nucléaire qui n'ont pas encore été exploitées. Il est clair que nous devons réduire notre dépendance aux sources traditionnelles d'énergie, autant à cause des risques

sur l'environnement et la santé, que de l'épuisement des réserves naturelles. Plusieurs de ces sources de remplacement vont être décrites ici.

Bien que le soleil ait toujours été la source fondamentale de presque toute l'énergie terrestre, c'était des centrales qui jusqu'à très récemment s'occupaient de capter son énergie, à travers le bois, le charbon, le gaz naturel et le pétrole. Le développement de techniques pour rassembler, stocker et distribuer de manière directe l'énergie du soleil a été retardé par l'utilisation, moins coûteuse, de combustibles fossiles et du nucléaire. Beaucoup de foyers utilisent l'énergie solaire pour le chauffage et la climatisation. Face à l'embargo du Moyen-Orient sur le pétrole pendant les années 70, plus de fonds ont été consacrés à la recherche d'autres sources d'énergie, en particulier l'énergie solaire. Il y a des avantages évidents. Le charbon est salissant, le pétrole et le gaz naturel deviennent de plus en plus rares, et le nucléaire est dangereux. Au contraire, l'énergie solaire est sûre, propre, abondante et gratuite. De plus le chauffage et la climatisation par le soleil n'exigent pas qu'on transporte l'énergie à des milliers de kilomètres, et donc on évite la perte d'énergie, les coûts supplémentaires, l'imprévisibilité et la dépendance à de vastes réseaux d'énergie. Le grand problème avec l'énergie solaire est que les techniques actuelles ne sont pas encore très efficaces. L'énergie solaire est diffuse et doit donc être rassemblée. Elle est de plus intermittente, et il faut la stocker. Si la lumière solaire ne coûte rien la technique pour la concentrer et la stocker, en revanche, est coûteuse. A petite échelle cela pose peu de problèmes. A grande échelle, cette technologie est extrêmement coûteuse.

L'énergie géothermique est dérivée de la chaleur naturelle de la terre, dont le centre en fusion peut atteindre, selon des estimations, jusqu'à 7200 degrés. Cette source stable de chaleur promet d'être une source d'énergie précieuse dans le futur, mais actuellement les formes les plus aisément accessibles d'énergie géothermique sont les poches d'eau chaude et de vapeur retenues près de la surface. Ces réservoirs se trouvent souvent dans des régions qui ont eu une activité volcanique, et ils peuvent se manifester par des sources chaudes, des geysers, des cheminées de vapeur, ou ne montrer aucun signe apparent.

La première centrale géothermique a été construite en Italie en 1913. Depuis, l'Union Soviétique, l'Islande, la Hongrie et la Nouvelle-Zélande ont développé ces centrales. Evidemment ces pays sont tous dotés de nombreuses réserves accessibles d'énergie géothermique. Les Etats-Unis ont la centrale géothermique la plus grande au monde, située au Nord de la Californie. Cependant c'est la seule de ce type dans le pays. L'énergie géothermique a de bons arguments en sa faveur. Les ressources sont abondantes. Les systèmes qui utilisent le gradient de la chaleur naturelle de la Terre ont un potentiel énergétique virtuellement illimité. Les centrales géothermiques sont aussi relativement faciles à mettre en place. Elles peuvent être opérationnelles en juste deux ans, contre cinq ans pour les installations pour combustibles fossiles et 10 ans pour les centrales nucléaires. Il y a également des inconvénients. L'exploitation des réservoirs d'énergie géothermique est souvent impraticable parce qu'ils sont situés trop loin des principaux regroupements de population. Les centrales d'énergie géothermique rejettent de nombreux polluants à cause du traitement de l'eau et la vapeur chargées de minéraux. Elles rejettent aussi deux fois plus de chaleur dans l'atmosphère que les centrales nucléaires et sont assez bruyantes. Elles ne sont absolument pas infaillibles. On sait que des explosions de puits ont été incontrôlables pendant plusieurs jours. Le pompage et la réinjection de fluides thermiques peuvent provoquer des tremblements de terre. Enfin, le forage est coûteux.

Les moulins alimentés par les marées des océans ont existé sur les côtes françaises depuis le XIIIe siècle. La première centrale basée sur l'énergie marémotrice a été construite en 1967, toujours en France. Il s'agit d'un immense barrage comprenant une centrale hydroélectrique à l'intérieur. Quand la marée montante arrive, l'eau passe par les portes du barrage et remplit un bassin se trouvant derrière celui-ci. Lorsque l'eau traverse les portes, cela active les alternateurs hydroélectriques et produit de l'électricité. Quand les portes du barrages sont fermées, de grandes masses d'eau restent prisonnières du bassin situé derrière le barrage jusqu'à ce que le niveau de l'eau soit plus haut que du côté de l'océan. A ce moment-là, on ré-ouvre les portes et l'eau repart des turbines vers la mer. Donc, de l'électricité est générée chaque fois que l'eau traverse le barrage. Ces installations ont les mêmes avantages que les autres types de centrales hydroélectriques. Elles n'ont pas besoin d'une source externe de combustible. De

plus leur fonctionnement est essentiellement non-polluant. L'énergie marémotrice est donc logiquement une source d'énergie renouvelable et naturelle. La limite la plus importante est qu'il existe peu de zones où cela est réalisable. Ces centrales doivent être situées dans des baies ou des criques étroites, et où il y a de grands écarts entre les marées, afin de produire de l'électricité de manière compétitive. En fait, il n'existe que 15 sites au monde où cela serait possible. Et à ces endroits les centrales pourraient représenter une menace pour l'écologie marine. La construction de barrages massifs pourrait être perturbatrice. De plus, le fonctionnement ultérieur des barrages pourrait interférer avec le cycle normal des marées et donc avec les cycles de vie de certains organismes marins.

Des milliers d'éoliennes fonctionnent à l'heure actuelle dans diverses régions du monde, avec une capacité totale de plus de 58 982 MW, et l'Europe y prend part à 69 %. L'Allemagne est le premier producteur mondial d'électricité éolienne. Ce pays disposait de 18 428 MW de puissance installée à la fin de l'année 2005. L'Espagne est le deuxième producteur mondial avec 10 027 MW. Fin 2005, en troisième position, les États-Unis avaient une puissance installée de 9 149 MW. La France était en 2005 le 9^e producteur d'énergie éolienne en Europe avec 757 MW. À titre de comparaison, la puissance installée en énergie nucléaire est de 21 000 MW en Allemagne, de 63 000 MW en France et de 98 000 MW aux États-Unis. Selon l'Observatoire des Energies Renouvelables, dans un rapport publié par EDF, l'éolien est actuellement la filière énergétique la plus dynamique dans le monde et plus particulièrement dans l'Union européenne où la production d'électricité éolienne a augmenté de 37,8 % par an en moyenne de 1993 jusqu'en 2002. Pendant des siècles, l'énergie éolienne a été utilisée pour fournir un travail mécanique. L'exemple le plus connu est le moulin à vent utilisé par le meunier pour la transformation du blé en farine. Par la suite, pendant plusieurs décennies, l'énergie éolienne a servi à produire de l'énergie électrique dans des endroits reculés et donc non-connectés à un réseau électrique. Des installations sans stockage d'énergie impliquaient que le besoin en énergie et la présence d'énergie éolienne soient simultanés. La maîtrise du stockage d'énergie par batteries a permis de stocker cette énergie et ainsi de l'utiliser sans présence de vent, ce type d'installation ne concernant que des besoins domestiques, non appliqués à l'industrie. Depuis les années 90, l'amélioration de la technologie des éoliennes a permis de

construire des aérogénérateurs de plus de 1 MW. Ces unités se sont démocratisées et on en retrouve aujourd'hui dans plusieurs pays. Une éolienne raccordée au réseau se doit donc de fournir cette fréquence quelque soit la vitesse du vent. Cette fréquence constante passe par une vitesse de rotation constante des pales. Cette dernière est obtenue par régulation notamment avec l'orientation des pales. Si la vitesse du vent est trop faible (par exemple moins de 10 km/h), l'éolienne s'arrête en raison des forces de frottement sec qui s'opposent à la rotation de l'hélice. Cette diminution de la vitesse de rotation ne permet plus de fournir cette fréquence. Dans ce cas, l'éolienne n'est donc plus productrice d'électricité, mais pourrait au contraire devenir consommatrice, il est donc nécessaire de la déconnecter.

Une centrale basée sur l'énergie océano-thermique est en fait un grand moteur marchant à la chaleur, construit soit sur une plate-forme sur l'océan, soit sur la côte. La centrale fonctionne en extrayant une partie de l'énergie solaire emmagasinée à la surface de l'eau des océans tropicaux. Les premières centrales étaient conçues pour exploiter les 40 degrés de température de différence entre la surface de l'océan et les courants arctiques froids passant bien en dessous. Des projets plus récents utilisent l'eau de la surface pour vaporiser un gaz comme l'ammoniac ou le propane. La vapeur chimique fait tourner une turbine pour générer de l'énergie. Les centrales à énergie océano-thermique présentent plusieurs avantages. Comme elles utilisent l'énergie solaire, elles ne requièrent pas de combustion pour générer l'électricité et donc ne produisent pas de polluants. Contrairement aux autres techniques de production d'énergie solaire, il n'y a pas besoin de collecteurs ou d'unités de stockage d'énergie ; l'océan remplit ces deux fonctions. De plus ces centrales peuvent fonctionner presque en continu. Un volume d'énergie immense est convertible sans danger de diminution de ces ressources renouvelables. Cette méthode présente aussi des inconvénients qui ont freiné son expansion. Comme la génération d'énergie océano-thermique doit se faire grâce à des océans tropicaux, cette source d'énergie n'est pas à même d'alimenter les Etats-Unis. Même si aucune technique fondamentalement nouvelle n'est requise, des problèmes d'épuisement existent. De très longs tuyaux, jusqu'à 1200 mètres de long, devraient être installés dans l'océan. De plus les conséquences environnementales des opérations océano-thermiques sont peu connues. Fin du texte.

Depuis la Révolution Industrielle, les pays industrialisés sont devenus de plus en plus dépendants de la production d'énergie pour maintenir leur économie et leur niveau de vie. Les sources primaires d'énergie sont les combustibles fossiles (pétrole, charbon et gaz naturel), et depuis peu le nucléaire. Les combustibles fossiles partagent plusieurs caractéristiques importantes qui ont contribué à les établir comme sources privilégiées d'énergie (ressources abondantes et transportables). Ces dernières années, cependant, nous avons été témoins de certaines des limitations des combustibles fossiles et du nucléaire. A cause de la recherche d'une énergie peu coûteuse et abondante, et de la dépendance aux combustibles fossiles et nucléaires que cela a créé, nous sommes maintenant confrontés à d'immenses problèmes environnementaux. L'utilisation massive des combustibles fossiles et du nucléaire menace notre environnement de nombreuses façons. Nous commençons à peine à comprendre l'ampleur des problèmes environnementaux que nous avons créés. Certains des problèmes majeurs liés à l'utilisation des combustibles fossiles vont être examinés ici. La plus grande menace pesant sur la planète est peut être le réchauffement de la planète dû à l'effet de serre. L'effet de serre se produit quand certains gaz, en particulier le dioxyde de carbone, emprisonnent de la chaleur qui devrait normalement s'échapper dans l'espace. Le niveau de dioxyde de carbone a augmenté de plus de 23% comparé à celui d'avant la Révolution Industrielle et il continue de s'accroître d'environ 0,8 % par an. Comme ce niveau augmente, de plus en plus de chaleur est emprisonnée et les températures à l'échelle de la planète augmentent. En France, les émissions de gaz à effet de serre proviennent des transports pour 26 %, suivis de l'industrie (22 %), de l'agriculture (19 %), des bâtiments et habitations (19 %), de la production et de la transformation de l'énergie (13 %), et du traitement des déchets (3 %). Depuis 1990, les émissions ont augmenté de plus de 20 % pour les transports et les bâtiments. En revanche, elles ont diminué de 22 % dans l'industrie, de 10 % dans le secteur agricole, de 9 % dans le secteur de l'énergie et de 8 % pour le traitement des déchets. Un réchauffement important de la planète provoquerait d'abord une augmentation mécanique du volume d'eau de mer par dilatation et par la fonte des calottes polaires, qui engloutirait les terres basses (les îles coralliennes et les îles Maldives sont les premières menacées). Un réchauffement

important mettrait également en péril de nombreuses espèces dont peut-être, par acidification des océans, le phytoplancton qui produit 80 % de l'oxygène que nous respirons et qui absorbe l'essentiel du dioxyde de carbone dissous dans l'eau de mer (le CO₂ est 60 fois plus présent dans la mer que dans l'air). D'autres conséquences sont attendues, dont une augmentation de la pluviométrie, et la modification des courants marins, ce qui modifierait aussi le niveau moyen des mers avec des conséquences potentiellement désastreuses. Les scientifiques prévoient une augmentation de 1,5 °C à 6 °C pour le siècle à venir en supposant que l'augmentation des rejets de gaz à effet de serre continue au rythme des 20 dernières années (on n'a pas observé de ralentissement global des émissions, même depuis le protocole de Kyoto). Un arrêt total et immédiat des rejets de carbone n'empêcherait cependant pas la température moyenne de la planète de continuer à augmenter pendant plusieurs dizaines à centaines d'années, car certains gaz à effet de serre ne disparaissent de l'atmosphère que très lentement. Les pluies acides peuvent avoir des effets dévastateurs sur l'écologie des lacs et des forêts. Lorsqu'on brûle des combustibles fossiles, des composés de nitrogène et des sulfates sont lâchés dans l'atmosphère. Ces particules retournent à la terre sous forme de pluie au niveau d'acidité élevé. Une étude des lacs de montagnes, dans les chaînes Adirondacks, Poconos et Catskill situées dans le Nord-Est des Etats-Unis, indique que les pluies acides qui affectent ces lacs ont peut-être causé la disparition de 69% des sangsues, 45% des insectes, 50% des mollusques et 18% des crustacés. On ne sait pas encore si de tels effets sont réversibles. Une étude importante sur les épicéas dans une forêt d'Allemagne montre également les effets nuisibles des pluies acides. Il y a environ 15 ans, on a observé, dans une forêt bavaroise d'altitude élevée, un jaunissement maladif des aiguilles de certains groupes d'épicéas au printemps. Au cours des deux années qui suivirent, cette maladie s'est étendue et aggravée, et elle a augmenté la mortalité des arbres dans les forêts allemandes. Une étude minutieuse des causes de cette dévastation a montré que les pluies acides entraînaient un déséquilibre chimique de l'écosystème en acidifiant le sol. Les changements dans le sol amenaient le développement graduel de déficiences graves des nutriments essentiels pour les arbres. Ceci rendait les arbres plus sensibles aux

pesticides et aux climats extrêmes, ce qui a entraîné la perte d'un grand nombre d'arbres en l'espace de moins de 10 ans. Les centrales nucléaires produisent des dizaines de milliers de tonnes de déchets radioactifs, dont certains sont dangereux pour des milliers voire des millions d'années. Aujourd'hui, il n'existe aucune solution pour éliminer les déchets nucléaires. Seul le temps permet de voir diminuer la radioactivité. Pour l'instant, la seule solution envisagée consiste à stocker et à attendre, par exemple plusieurs dizaines de milliers d'années pour le plutonium! Le problème est d'importance. Une bonne idée de l'étendue du problème est donnée par l'exemple de l'Usine Pilote d'Isolation des déchets près de Carlsbad au Nouveau-Mexique, qui a coûté 3,8 milliards de francs. Il s'agit du projet d'un site considérable consacré au stockage des déchets radioactifs qui proviennent des usines d'armement nucléaire du pays. L'Usine Pilote d'Isolation des Déchets comprend 56 cavités taillées dans des dépôts de sel qui se trouvent à 640 mètres sous terre. Elle a été conçue pour que les cavités en sel s'effondrent lentement et encapsulent les déchets pour les cents années à venir. Actuellement, on mène des tests afin de déterminer si cette installation rentrera dans les normes de l'Agence pour la Protection de l'Environnement concernant le stockage des déchets nucléaires. Deux inquiétudes graves ont émergé. L'une est que les lits de sel sont plus saturés en eau qu'on ne le supposait au départ. Si les cavités s'affaissent trop lentement, l'eau pourrait se mettre à les remplir et à attaquer l'acier des barils qui contiennent les déchets. Un autre problème est que le gaz généré par les déchets pourrait faire augmenter la pression et agrandir des fissures dans le sel. Ceci donnerait aux déchets une porte de sortie vers la surface, ou vers des nappes d'eau souterraines avoisinantes. On s'est appuyé sur les combustibles fossiles depuis la Révolution Industrielle et sur le nucléaire depuis les années 50. On n'est maintenant que trop conscient des limitations de ces sources d'énergie. Il y a beaucoup d'alternatives à l'utilisation des combustibles fossiles et du nucléaire qui n'ont pas encore été exploitées. Il est clair que nous devons réduire notre dépendance aux sources traditionnelles d'énergie, autant à cause des risques sur l'environnement et la santé, que de l'épuisement des réserves naturelles. Plusieurs de ces sources de remplacement vont

être décrites ici. Bien que le soleil ait toujours été la source fondamentale de presque toute l'énergie terrestre, c'était des centrales qui jusqu'à très récemment s'occupaient de capter son énergie, à travers le bois, le charbon, le gaz naturel et le pétrole. Le développement de techniques pour rassembler, stocker et distribuer de manière directe l'énergie du soleil a été retardé par l'utilisation, moins coûteuse, de combustibles fossiles et du nucléaire. Beaucoup de foyers utilisent l'énergie solaire pour le chauffage et la climatisation. Face à l'embargo du Moyen-Orient sur le pétrole pendant les années 70, plus de fonds ont été consacrés à la recherche d'autres sources d'énergie, en particulier l'énergie solaire. Il y a des avantages évidents. Le charbon est salissant, le pétrole et le gaz naturel deviennent de plus en plus rares, et le nucléaire est dangereux. Au contraire, l'énergie solaire est sûre, propre, abondante et gratuite. De plus le chauffage et la climatisation par le soleil n'exigent pas qu'on transporte l'énergie à des milliers de kilomètres, et donc on évite la perte d'énergie, les coûts supplémentaires, l'imprévisibilité et la dépendance à de vastes réseaux d'énergie. Le grand problème avec l'énergie solaire est que les techniques actuelles ne sont pas encore très efficaces. L'énergie solaire est diffuse et doit donc être rassemblée. Elle est de plus intermittente, et il faut la stocker. Si la lumière solaire ne coûte rien la technique pour la concentrer et la stocker, en revanche, est coûteuse. A petite échelle cela pose peu de problèmes. A grande échelle, cette technologie est extrêmement coûteuse. L'énergie géothermique est dérivée de la chaleur naturelle de la terre, dont le centre en fusion peut atteindre, selon des estimations, jusqu'à 7200 degrés. Cette source stable de chaleur promet d'être une source d'énergie précieuse dans le futur, mais actuellement les formes les plus aisément accessibles d'énergie géothermique sont les poches d'eau chaude et de vapeur retenues près de la surface. Ces réservoirs se trouvent souvent dans des régions qui ont eu une activité volcanique, et ils peuvent se manifester par des sources chaudes, des geysers, des cheminées de vapeur, ou ne montrer aucun signe apparent. La première centrale géothermique a été construite en Italie en 1913. Depuis, l'Union Soviétique, l'Islande, la Hongrie et la Nouvelle-Zélande ont développé ces centrales. Evidemment ces pays sont tous dotés de nombreuses réserves accessibles d'énergie géothermique. Les Etats-

Unis ont la centrale géothermique la plus grande au monde, située au Nord de la Californie. Cependant c'est la seule de ce type dans le pays. L'énergie géothermique a de bons arguments en sa faveur. Les ressources sont abondantes. Les systèmes qui utilisent le gradient de la chaleur naturelle de la Terre ont un potentiel énergétique virtuellement illimité. Les centrales géothermiques sont aussi relativement faciles à mettre en place. Elles peuvent être opérationnelles en juste deux ans, contre cinq ans pour les installations pour combustibles fossiles et 10 ans pour les centrales nucléaires. Il y a également des inconvénients. L'exploitation des réservoirs d'énergie géothermique est souvent impraticable parce qu'ils sont situés trop loin des principaux regroupements de population. Les centrales d'énergie géothermique rejettent de nombreux polluants à cause du traitement de l'eau et la vapeur chargées de minéraux. Elles rejettent aussi deux fois plus de chaleur dans l'atmosphère que les centrales nucléaires et sont assez bruyantes. Elles ne sont absolument pas infaillibles. On sait que des explosions de puits ont été incontrôlables pendant plusieurs jours. Le pompage et la réinjection de fluides thermiques peuvent provoquer des tremblements de terre. Enfin, le forage est coûteux. Les moulins alimentés par les marées des océans ont existé sur les côtes françaises depuis le XIIIe siècle. La première centrale basée sur l'énergie marémotrice a été construite en 1967, toujours en France. Il s'agit d'un immense barrage comprenant une centrale hydroélectrique à l'intérieur. Quand la marée montante arrive, l'eau passe par les portes du barrage et remplit un bassin se trouvant derrière celui-ci. Lorsque l'eau traverse les portes, cela active les alternateurs hydroélectriques et produit de l'électricité. Quand les portes du barrages sont fermées, de grandes masses d'eau restent prisonnières du bassin situé derrière le barrage jusqu'à ce que le niveau de l'eau soit plus haut que du côté de l'océan. A ce moment-là, on ré-ouvre les portes et l'eau repart des turbines vers la mer. Donc, de l'électricité est générée chaque fois que l'eau traverse le barrage. Ces installations ont les mêmes avantages que les autres types de centrales hydroélectriques. Elles n'ont pas besoin d'une source externe de combustible. De plus leur fonctionnement est essentiellement non-polluant. L'énergie marémotrice est donc logiquement une source d'énergie renouvelable et naturelle. La limite la plus importante est qu'il existe peu de

zones où cela est réalisable. Ces centrales doivent être situées dans des baies ou des criques étroites, et où il y a de grands écarts entre les marées, afin de produire de l'électricité de manière compétitive. En fait, il n'existe que 15 sites au monde où cela serait possible. Et à ces endroits les centrales pourraient représenter une menace pour l'écologie marine. La construction de barrages massifs pourrait être perturbatrice. De plus, le fonctionnement ultérieur des barrages pourrait interférer avec le cycle normal des marées et donc avec les cycles de vie de certains organismes marins. Des milliers d'éoliennes fonctionnent à l'heure actuelle dans diverses régions du monde, avec une capacité totale de plus de 58 982 MW, et l'Europe y prend part à 69 %. L'Allemagne est le premier producteur mondial d'électricité éolienne. Ce pays disposait de 18 428 MW de puissance installée à la fin de l'année 2005. L'Espagne est le deuxième producteur mondial avec 10 027 MW. Fin 2005, en troisième position, les États-Unis avaient une puissance installée de 9 149 MW. La France était en 2005 le 9^e producteur d'énergie éolienne en Europe avec 757 MW. À titre de comparaison, la puissance installée en énergie nucléaire est de 21 000 MW en Allemagne, de 63 000 MW en France et de 98 000 MW aux États-Unis. Selon l'Observatoire des Energies Renouvelables, dans un rapport publié par EDF, l'éolien est actuellement la filière énergétique la plus dynamique dans le monde et plus particulièrement dans l'Union européenne où la production d'électricité éolienne a augmenté de 37,8 % par an en moyenne de 1993 jusqu'en 2002. Pendant des siècles, l'énergie éolienne a été utilisée pour fournir un travail mécanique. L'exemple le plus connu est le moulin à vent utilisé par le meunier pour la transformation du blé en farine. Par la suite, pendant plusieurs décennies, l'énergie éolienne a servi à produire de l'énergie électrique dans des endroits reculés et donc non-connectés à un réseau électrique. Des installations sans stockage d'énergie impliquaient que le besoin en énergie et la présence d'énergie éolienne soient simultanés. La maîtrise du stockage d'énergie par batteries a permis de stocker cette énergie et ainsi de l'utiliser sans présence de vent, ce type d'installation ne concernant que des besoins domestiques, non appliqués à l'industrie. Depuis les années 90, l'amélioration de la technologie des éoliennes a permis de construire des aérogénérateurs de plus de 1 MW. Ces unités se sont démocratisées et on en

retrouve aujourd'hui dans plusieurs pays. Une éolienne raccordée au réseau se doit donc de fournir cette fréquence quelque soit la vitesse du vent. Cette fréquence constante passe par une vitesse de rotation constante des pales. Cette dernière est obtenue par régulation notamment avec l'orientation des pales. Si la vitesse du vent est trop faible (par exemple moins de 10 km/h), l'éolienne s'arrête en raison des forces de frottement sec qui s'opposent à la rotation de l'hélice. Cette diminution de la vitesse de rotation ne permet plus de fournir cette fréquence. Dans ce cas, l'éolienne n'est donc plus productrice d'électricité, mais pourrait au contraire devenir consommatrice, il est donc nécessaire de la déconnecter. Une centrale basée sur l'énergie océano-thermique est en fait un grand moteur marchant à la chaleur, construit soit sur une plate-forme sur l'océan, soit sur la côte. La centrale fonctionne en extrayant une partie de l'énergie solaire emmagasinée à la surface de l'eau des océans tropicaux. Les premières centrales étaient conçues pour exploiter les 40 degrés de température de différence entre la surface de l'océan et les courants arctiques froids passant bien en dessous. Des projets plus récents utilisent l'eau de la surface pour vaporiser un gaz comme l'ammoniac ou le propane. La vapeur chimique fait tourner une turbine pour générer de l'énergie. Les centrales à énergie océano-thermique présentent plusieurs avantages. Comme elles utilisent l'énergie solaire, elles ne requièrent pas de combustion pour générer l'électricité et donc ne produisent pas de polluants. Contrairement aux autres techniques de production d'énergie solaire, il n'y a pas besoin de collecteurs ou d'unités de stockage d'énergie ; l'océan remplit ces deux fonctions. De plus ces centrales peuvent fonctionner presque en continu. Un volume d'énergie immense est convertible sans danger de diminution de ces ressources renouvelables. Cette méthode présente aussi des inconvénients qui ont freiné son expansion. Comme la génération d'énergie océano-thermique doit se faire grâce à des océans tropicaux, cette source d'énergie n'est pas à même d'alimenter les Etats-Unis. Même si aucune technique fondamentalement nouvelle n'est requise, des problèmes d'épuisement existent. De très longs tuyaux, jusqu'à 1200 mètres de long, devraient être installés dans l'océan. De plus les conséquences environnementales des opérations océano-thermiques sont peu connues. Fin du texte.

Annexe 9 : Questions utilisées dans l'expérience 3 pour les textes expérimentaux

Texte traitant de questions énergétiques :

Question 1 : *En quelle année a été créée la première centrale basée sur l'énergie marémotrice ?*

Phrase réponse (page 5) : 'La première centrale basée sur l'énergie marémotrice a été construite en 1967, toujours en France.'

Question 2 : *Pour quel usage beaucoup de foyers utilisent-ils l'énergie solaire ?*

Phrase réponse (page 4) : 'Beaucoup de foyers utilisent l'énergie solaire pour le chauffage et la climatisation.'

Question 3 : *Quel est le premier producteur mondial d'électricité éolienne ?*

Phrase réponse (page 6) : 'L'Allemagne est le premier producteur mondial d'électricité éolienne.'

Texte traitant des espèces animales en voie de disparition :

Question 1 : *Combien d'espèces de perroquets sont considérées comme menacées ?*

Phrase réponse (page 5) : '95 espèces de perroquets sont considérées comme menacées, une proportion qu'aucune autre grande famille d'oiseaux n'atteint.'

Question 2 : *La médecine traditionnelle chinoise utilise la vésicule biliaire des ours contre quel type de maladie ?*

Phrase réponse (page 4) : 'Enfin, la médecine traditionnelle chinoise utilise la vésicule biliaire des ours contre les maladies du foie.'

Question 3 : *De quoi se nourrissent les manchots ?*

Phrase réponse (page 6) : 'Les manchots se nourrissent de poissons, de seiches, de crustacés et de mollusques.'

Annexe 10 : Trois versions du texte d'entraînement utilisé dans l'expérience 3

LA LUTTE CONTRE LES INCENDIES

Les incendies représentent une menace constante pour les personnes et les biens. Lorsqu'il est incontrôlé, un incendie peut être très meurtrier. La lutte contre le feu peut sembler être une activité désorganisée, mais elle requiert une attaque planifiée par des hommes entraînés, opérant comme une équipe sous la direction d'officiers expérimentés.

I. LES VEHICULES DES POMPIERS

Selon les circonstances de l'incendie, les véhicules utilisés par les sapeurs-pompiers sont très différents. A chaque type de situation correspond un véhicule spécifique et lors d'une alerte, les sapeurs-pompiers doivent rapidement identifier le type d'incendie auquel ils sont confrontés pour pouvoir déterminer les véhicules adéquats à mobiliser. Les éléments à prendre en compte sont par exemple la localisation du sinistre, l'accessibilité ou non d'une alimentation en eau, les caractéristiques du lieu (l'architecture du bâtiment en milieu urbain ou le relief en forêt) ou encore les conditions climatiques.

1. Le camion-citerne

Un camion-citerne complètement équipé et géré par trois ou quatre hommes constitue la base d'une équipe de sapeurs-pompiers. Ils font l'objet d'une normalisation très précise. Ce véhicule possède un châssis massif, un puissant moteur à essence et une ou deux lances orientables fixées au-dessus ou derrière la cabine. On peut distinguer les camions-citernes à eau (les plus répandus) et les camions-citernes à poudre ou encore à mousse. Les camions-citernes à eau (environ 5 500 en France) se classent en trois catégories : légers, moyens, lourds (6 000 litres d'eau) et même superlourds (trois essieux, 13 000 litres d'eau). Ce sont des engins tout terrain puissants, très stables, toutes roues motrices avec pneus basse pression, à cabine renforcée ou protégée par des barres de sécurité. Les camions-citernes à poudre sèche fonctionnent comme de très gros extincteurs. Ils ont une forte puissance d'action et sont parfois jumelés avec un dispositif à mousse physique ou à neige carbonique. Ils interviennent sur des feux de matériaux que l'eau ne peut éteindre ou qui pourrait même être dangereuse d'emploi. Ils sont mobilisés chez les sapeurs-pompiers communaux pour les feux d'hydrocarbures, de produits chimiques, de certains métaux. Ce sont des réservoirs de poudre (jusqu'à 4,5 tonnes) dont elle est chassée par un gaz sous pression, dioxyde de carbone ou azote. Les camions-citernes à

mousse sont proches parents des camions-citernes à poudre mais ils emportent de l'émulseur (jusqu'à 1 500 litres) produisant et projetant de la mousse, ou plutôt « des » mousses car il en existe divers types. Ils combattent essentiellement les feux d'hydrocarbures (stations d'essence, camion transportant du pétrole, raffineries...).

2. La grande échelle

La grande échelle est le véhicule utilisé par les sapeurs-pompiers qui comprend une échelle escamotable de grande hauteur. Le terme « grande échelle » est utilisé par le grand public, les professionnels parlent tout simplement « d'échelle », ou bien utilisent des abréviations selon le type particulier de modèle (EPA, EPSA). La grande échelle permet d'effectuer des sauvetages dans les étages lorsque les accès normaux sont difficiles, d'évacuer des personnes, d'acheminer des personnels et des matériels, d'arroser par l'extérieur. Certaines échelles disposent de tuyaux rigides télescopiques qui permettent d'acheminer de l'eau en haut, à l'image d'une colonne sèche. Le haut de l'échelle est en général relié au bas par un interphone. Les premiers modèles étaient actionnés à la main, par des manivelles. Les modèles modernes sont actionnés par des moteurs. Dans de nombreux cas, l'échelle est munie d'une nacelle qui monte et descend, en fixe ou amovible, et assure ainsi une grande sécurité. Certains corps de pompiers s'équipent d'élévateurs (nacelle sur bras hydraulique). Un risque important à prendre en compte est le déséquilibre du véhicule. En effet, l'échelle constitue un bras de levier qui amplifie les forces. En conséquence, le véhicule une fois en place est « soulevé » par des vérins hydrauliques afin de ne plus reposer sur les roues (les roues touchent le sol mais ne supportent aucun poids) : le mouvement des suspensions du véhicule mettrait en danger sa stabilité. L'inclinaison de l'échelle est également limitée par la hauteur déployée. Un autre risque inhérent à la grande échelle est la chute des personnes. Les pompiers doivent donc être munis d'une longe pouvant absorber le choc de la chute. Mais ce dispositif ne peut être mis en place qu'avec une nacelle, ou bien lorsque le pompier est arrivé en haut.

3. Le véhicule de secours aux victimes

Comme son nom l'indique, le véhicule de secours aux victimes permet d'intervenir sur des prompts secours, sur des accidents de circulation sur la voie publique. Il peut aussi

Intervenir à domicile sur demande du Samu en cas de carence d'ambulance privée ou bien lorsque l'urgence nécessite un délai très court. Il dispose d'une signalétique particulière. Sa couleur est rouge, sauf le toit et les pare-chocs qui sont blancs. Il a une bande jaune rétro-réfléchissante sur les côtés. Il est muni de gyrophares bleus, signal spécial réservé aux véhicules d'intérêt général à caractère prioritaire. Il est également muni d'une rampe de feux orange à l'arrière, permettant de signaler de loin un accident. Il possède une sirène à deux tons (pin-pon-pin-pon...), signal spécial réservé aux véhicules d'intérêt général à caractère prioritaire. Ce véhicule peut mener à bien des opérations de reconnaissance, de dégagement et de relevage, d'exécution de gestes d'urgence et de réanimation nécessités par la mise en condition d'une victime pour son transport, de transport de victimes et d'exécution de soins médicaux d'urgence et de réanimation si le véhicule est médicalisé, c'est-à-dire si un médecin sapeur-pompier avec son matériel monte à bord.

II. LES EQUIPEMENTS DE PREVENTION

Tout bâtiment destiné à accueillir du public est soumis au respect de normes anti-incendie strictes. Ces normes de sécurité extrêmement contraignantes sont parfois un véritable casse-tête pour les entrepreneurs et les responsables d'établissement mais elles permettent indéniablement de sauver des vies. Quelque soit le type d'établissement, la possession d'équipement de prévention des incendies est souvent obligatoire. Maintenus en bon état de marche, dans les entreprises ou les lieux publics, ils permettent de se prémunir efficacement contre les incendies.

1. Les extincteurs

Les extincteurs sont des appareils portables qui fournissent de l'eau ou d'autres agents extincteurs dans le but d'éteindre les feux de petite taille. Les extincteurs les plus répandus contiennent de la mousse, mais certains modèles peuvent contenir un gaz liquéfié ou tout simplement de l'eau. Les extincteurs à eau sont utilisés pour combattre les feux de classe A, c'est-à-dire les feux qui impliquent le bois, le papier, les vêtements ou d'autres combustibles solides. Les extincteurs à mousse contiennent de l'eau et un agent moussieux. La mousse est adaptée aux feux de classe A et aux feux de classe B, ces derniers impliquant des liquides inflammables comme l'essence ou l'huile de cuisine.

Les extincteurs à gaz liquéfié contiennent du dioxyde de carbone ou un gaz appelé Halon. Ils sont utilisés pour combattre les feux de classe B et de classe C, ces derniers impliquant des installations électriques en activité. Les extincteurs sont des appareils qui permettent de projeter, à l'aide d'une pression intérieure et en dirigeant le jet, un agent extincteur sur un foyer d'incendie. La pression est fournie soit par une compression préalable, soit par une réaction chimique ou la libération d'un gaz auxiliaire, soit enfin par la manœuvre d'une pompe. On différencie les extincteurs entre eux en fonction de la nature de l'agent contenu, des conditions d'utilisation de chacun d'eux et de leurs possibilités. Les capacités usuelles varient de 0,2 litre à 12 litres pour les extincteurs sur roues ; certains constructeurs fabriquent des appareils de plus grande capacité (250 à 500 litres). Pour les appareils à mousse ou à liquide ignifuge la pression est obtenue par la réaction d'une solution acide sur une solution basique. Les appareils à eau et à poudre sont, soit à pression permanente, soit mis en pression au moment de l'emploi par l'ouverture d'une cartouche de gaz, ou sparklet. Les appareils chargés d'anhydride carbonique ou d'hydrocarbures halogénés sont à pression permanente.

2. Les détecteurs de fumée

Les détecteurs de fumée constituent un moyen de détection précoce des feux à un stade où leur petite taille permet de les éteindre facilement. Ils contribuent également à la sécurité en permettant aux personnes de quitter les lieux à temps. Le fonctionnement des détecteurs de fumée repose sur la conductibilité de l'air. Ils contiennent une chambre d'ionisation dont l'air est rendu conducteur par la présence d'une source radio-active. Lorsqu'une fumée ou un gaz de combustion pénètre dans cette chambre, la conductibilité de l'air ionisé diminue, ce qui provoque l'alarme. Il existe plusieurs variantes de ce procédé. Bien que les détecteurs de fumée soient le dispositif le plus répandu, on compte également les détecteurs de chaleur et de rayonnement parmi les différents types de détecteurs d'incendie. Les détecteurs de chaleur sont, selon les types, sensibles à la vitesse d'élévation de la température, ou au dépassement d'un seuil de température. Le premier type se déclenche lorsque la température augmente à une rapidité anormale. Il est fréquemment réglé pour se déclencher lorsque la température augmente à plus de quinze ou vingt degrés par minute. Le deuxième type se déclenche lorsque la température dépasse un certain seuil, habituellement cent soixante cinq degrés. Les détecteurs optiques sont le plus souvent constitués d'une cellule photorésistante ou émissive éclairée en permanence

par une source de lumière, le déclenchement de l'alarme se produisant lorsqu'un écran de gaz ou de fumée s'interpose entre la source de lumière et la cellule. Signalons enfin l'existence de détecteurs fonctionnant en cas de variation de la conductivité électrique de l'atmosphère. Les détecteurs, quel que soit leur type, sont reliés à un tableau de contrôle dont le rôle est de transformer le signal reçu en un avertissement sonore ou lumineux permettant de localiser le danger. Ils sont fréquemment utilisés pour déclencher le fonctionnement d'installations 'sprinklers'.

3. Les installations sprinklers

Un système de sprinklers est une installation d'extinction automatique à eau. Le système se compose de canalisations d'eau sous pression placées au plafond des locaux à protéger et équipées de têtes de projection, ou sprinklers, et une ou des sources d'eau alimentant ce réseau. Sa mise en œuvre automatique le rend opérant jour et nuit. Le système libère une quantité d'eau adaptée au sinistre redouté sur une zone où un début d'incendie est détecté dans les plus brefs délais. L'arrosage est maintenu pour contenir le feu jusqu'à l'intervention des secours et fermeture manuelle des vannes. Aucune surveillance humaine n'est requise, si ce n'est pour arrêter l'installation après extinction du feu (par le sprinkler ou par les secours). L'efficacité du système repose sur une adéquation parfaite entre, d'une part, le débit des têtes, leur densité d'implantation et les ressources en eau disponibles, d'autre part, la nature des biens protégés (potentiel calorifique et débit calorifique, vitesse de propagation, solide, liquide ou gazeux...) et leur mode d'entreposage. La majeure partie des cas où l'installation sprinkler a échoué ressort d'actes de malveillance ou d'un dépassement des capacités de stockage prévues à la conception. Les statistiques montrent que 80 % des incendies sont maîtrisés ou éteints avec moins de 5 sprinklers; 95 % des départs de feux sont maîtrisés par l'installation sprinkler et les 5 % d'échecs restant sont dus aux raisons citées précédemment. Des idées reçues existent sur les sprinklers. Certains films laissent penser qu'approcher une source de chaleur d'une tête de sprinkler déclencherait l'intégralité des têtes présentes dans le bâtiment de bureau qui les abrite. Or dans la réalité, en dehors d'installations industrielles très particulières, chaque tête est indépendante et n'apporte de l'eau que sur la zone enflammée. Fin du texte.

Les incendies représentent une menace constante pour les personnes et les biens. Lorsqu'il est incontrôlé, un incendie peut être très meurtrier. La lutte contre le feu peut sembler être une activité désorganisée, mais elle requiert une attaque planifiée par des hommes entraînés, opérant comme une équipe sous la direction d'officiers expérimentés.

Selon les circonstances de l'incendie, les véhicules utilisés par les sapeurs-pompiers sont très différents. A chaque type de situation correspond un véhicule spécifique et lors d'une alerte, les sapeurs-pompiers doivent rapidement identifier le type d'incendie auquel ils sont confrontés pour pouvoir déterminer les véhicules adéquats à mobiliser. Les éléments à prendre en compte sont par exemple la localisation du sinistre, l'accessibilité ou non d'une alimentation en eau, les caractéristiques du lieu (l'architecture du bâtiment en milieu urbain ou le relief en forêt) ou encore les conditions climatiques.

Un camion-citerne complètement équipé et géré par trois ou quatre hommes constitue la base d'une équipe de sapeurs-pompiers. Ils font l'objet d'une normalisation très précise. Ce véhicule possède un châssis massif, un puissant moteur à essence et une ou deux lances orientables fixées au-dessus ou derrière la cabine. On peut distinguer les camions-citernes à eau (les plus répandus) et les camions-citernes à poudre ou encore à mousse. Les camions-citernes à eau (environ 5 500 en France) se classent en trois catégories : légers, moyens, lourds (6 000 litres d'eau) et même superlourds (trois essieux, 13 000 litres d'eau). Ce sont des engins tout terrain puissants, très stables, toutes roues motrices avec pneus basse pression, à cabine renforcée ou protégée par des barres de sécurité. Les camions-citernes à poudre sèche fonctionnent comme de très gros extincteurs. Ils ont une forte puissance d'action et sont parfois jumelés avec un dispositif à mousse physique ou à neige carbonique. Ils interviennent sur des feux de matériaux que l'eau ne peut éteindre ou qui pourrait même être dangereuse d'emploi. Ils sont mobilisés chez les sapeurs-pompiers communaux pour les feux d'hydrocarbures, de produits chimiques, de certains métaux. Ce sont des réservoirs de poudre (jusqu'à 4,5 tonnes) dont elle est chassée par un gaz sous pression, dioxyde de carbone ou azote. Les camions-citernes à

mousse sont proches parents des camions-citernes à poudre mais ils emportent de l'émulseur (jusqu'à 1 500 litres) produisant et projetant de la mousse, ou plutôt « des » mousses car il en existe divers types. Ils combattent essentiellement les feux d'hydrocarbures (stations d'essence, camion transportant du pétrole, raffineries...).

La grande échelle est le véhicule utilisé par les sapeurs-pompiers qui comprend une échelle escamotable de grande hauteur. Le terme « grande échelle » est utilisé par le grand public, les professionnels parlent tout simplement « d'échelle », ou bien utilisent des abréviations selon le type particulier de modèle (EPA, EPSA). La grande échelle permet d'effectuer des sauvetages dans les étages lorsque les accès normaux sont difficiles, d'évacuer des personnes, d'acheminer des personnels et des matériels, d'arroser par l'extérieur. Certaines échelles disposent de tuyaux rigides télescopiques qui permettent d'acheminer de l'eau en haut, à l'image d'une colonne sèche. Le haut de l'échelle est en général relié au bas par un interphone. Les premiers modèles étaient actionnés à la main, par des manivelles. Les modèles modernes sont actionnés par des moteurs. Dans de nombreux cas, l'échelle est munie d'une nacelle qui monte et descend, en fixe ou amovible, et assure ainsi une grande sécurité. Certains corps de pompiers s'équipent d'élévateurs (nacelle sur bras hydraulique). Un risque important à prendre en compte est le déséquilibre du véhicule. En effet, l'échelle constitue un bras de levier qui amplifie les forces. En conséquence, le véhicule une fois en place est « soulevé » par des vérins hydrauliques afin de ne plus reposer sur les roues (les roues touchent le sol mais ne supportent aucun poids) : le mouvement des suspensions du véhicule mettrait en danger sa stabilité. L'inclinaison de l'échelle est également limitée par la hauteur déployée. Un autre risque inhérent à la grande échelle est la chute des personnes. Les pompiers doivent donc être munis d'une longe pouvant absorber le choc de la chute. Mais ce dispositif ne peut être mis en place qu'avec une nacelle, ou bien lorsque le pompier est arrivé en haut.

Comme son nom l'indique, le véhicule de secours aux victimes permet d'intervenir sur des prompts secours, sur des accidents de circulation sur la voie publique. Il peut aussi

Intervenir à domicile sur demande du Samu en cas de carence d'ambulance privée ou bien lorsque l'urgence nécessite un délai très court. Il dispose d'une signalétique particulière. Sa couleur est rouge, sauf le toit et les pare-chocs qui sont blancs. Il a une bande jaune rétro-réfléchissante sur les côtés. Il est muni de gyrophares bleus, signal spécial réservé aux véhicules d'intérêt général à caractère prioritaire. Il est également muni d'une rampe de feux orange à l'arrière, permettant de signaler de loin un accident. Il possède une sirène à deux tons (pin-pon-pin-pon...), signal spécial réservé aux véhicules d'intérêt général à caractère prioritaire. Ce véhicule peut mener à bien des opérations de reconnaissance, de dégagement et de relevage, d'exécution de gestes d'urgence et de réanimation nécessités par la mise en condition d'une victime pour son transport, de transport de victimes et d'exécution de soins médicaux d'urgence et de réanimation si le véhicule est médicalisé, c'est-à-dire si un médecin sapeur-pompier avec son matériel monte à bord.

Tout bâtiment destiné à accueillir du public est soumis au respect de normes anti-incendie strictes. Ces normes de sécurité extrêmement contraignantes sont parfois un véritable casse-tête pour les entrepreneurs et les responsables d'établissement mais elles permettent indéniablement de sauver des vies. Quelque soit le type d'établissement, la possession d'équipement de prévention des incendies est souvent obligatoire. Maintenus en bon état de marche, dans les entreprises ou les lieux publics, ils permettent de se prémunir efficacement contre les incendies.

Les extincteurs sont des appareils portables qui fournissent de l'eau ou d'autres agents extincteurs dans le but d'éteindre les feux de petite taille. Les extincteurs les plus répandus contiennent de la mousse, mais certains modèles peuvent contenir un gaz liquéfié ou tout simplement de l'eau. Les extincteurs à eau sont utilisés pour combattre les feux de classe A, c'est-à-dire les feux qui impliquent le bois, le papier, les vêtements ou d'autres combustibles solides. Les extincteurs à mousse contiennent de l'eau et un agent moussieux. La mousse est adaptée aux feux de classe A et aux feux de classe B, ces derniers impliquant des liquides inflammables comme l'essence ou l'huile de cuisine.

Les extincteurs à gaz liquéfié contiennent du dioxyde de carbone ou un gaz appelé Halon. Ils sont utilisés pour combattre les feux de classe B et de classe C, ces derniers impliquant des installations électriques en activité. Les extincteurs sont des appareils qui permettent de projeter, à l'aide d'une pression intérieure et en dirigeant le jet, un agent extincteur sur un foyer d'incendie. La pression est fournie soit par une compression préalable, soit par une réaction chimique ou la libération d'un gaz auxiliaire, soit enfin par la manœuvre d'une pompe. On différencie les extincteurs entre eux en fonction de la nature de l'agent contenu, des conditions d'utilisation de chacun d'eux et de leurs possibilités. Les capacités usuelles varient de 0,2 litre à 12 litres pour les extincteurs sur roues ; certains constructeurs fabriquent des appareils de plus grande capacité (250 à 500 litres). Pour les appareils à mousse ou à liquide ignifuge la pression est obtenue par la réaction d'une solution acide sur une solution basique. Les appareils à eau et à poudre sont, soit à pression permanente, soit mis en pression au moment de l'emploi par l'ouverture d'une cartouche de gaz, ou sparklet. Les appareils chargés d'anhydride carbonique ou d'hydrocarbures halogénés sont à pression permanente.

Les détecteurs de fumée constituent un moyen de détection précoce des feux à un stade où leur petite taille permet de les éteindre facilement. Ils contribuent également à la sécurité en permettant aux personnes de quitter les lieux à temps. Le fonctionnement des détecteurs de fumée repose sur la conductibilité de l'air. Ils contiennent une chambre d'ionisation dont l'air est rendu conducteur par la présence d'une source radio-active. Lorsqu'une fumée ou un gaz de combustion pénètre dans cette chambre, la conductibilité de l'air ionisé diminue, ce qui provoque l'alarme. Il existe plusieurs variantes de ce procédé. Bien que les détecteurs de fumée soient le dispositif le plus répandu, on compte également les détecteurs de chaleur et de rayonnement parmi les différents types de détecteurs d'incendie. Les détecteurs de chaleur sont, selon les types, sensibles à la vitesse d'élévation de la température, ou au dépassement d'un seuil de température. Le premier type se déclenche lorsque la température augmente à une rapidité anormale. Il est fréquemment réglé pour se déclencher lorsque la température augmente à plus de quinze ou vingt degrés par minute. Le deuxième type se déclenche lorsque la température dépasse un certain seuil, habituellement cent soixante cinq degrés. Les détecteurs optiques sont le plus souvent constitués d'une cellule photorésistante ou émissive éclairée en permanence

par une source de lumière, le déclenchement de l'alarme se produisant lorsqu'un écran de gaz ou de fumée s'interpose entre la source de lumière et la cellule. Signalons enfin l'existence de détecteurs fonctionnant en cas de variation de la conductivité électrique de l'atmosphère. Les détecteurs, quel que soit leur type, sont reliés à un tableau de contrôle dont le rôle est de transformer le signal reçu en un avertissement sonore ou lumineux permettant de localiser le danger. Ils sont fréquemment utilisés pour déclencher le fonctionnement d'installations 'sprinklers'.

Un système de sprinklers est une installation d'extinction automatique à eau. Le système se compose de canalisations d'eau sous pression placées au plafond des locaux à protéger et équipées de têtes de projection, ou sprinklers, et une ou des sources d'eau alimentant ce réseau. Sa mise en œuvre automatique le rend opérant jour et nuit. Le système libère une quantité d'eau adaptée au sinistre redouté sur une zone où un début d'incendie est détecté dans les plus brefs délais. L'arrosage est maintenu pour contenir le feu jusqu'à l'intervention des secours et fermeture manuelle des vannes. Aucune surveillance humaine n'est requise, si ce n'est pour arrêter l'installation après extinction du feu (par le sprinkler ou par les secours). L'efficacité du système repose sur une adéquation parfaite entre, d'une part, le débit des têtes, leur densité d'implantation et les ressources en eau disponibles, d'autre part, la nature des biens protégés (potentiel calorifique et débit calorifique, vitesse de propagation, solide, liquide ou gazeux...) et leur mode d'entreposage. La majeure partie des cas où l'installation sprinkler a échoué ressort d'actes de malveillance ou d'un dépassement des capacités de stockage prévues à la conception. Les statistiques montrent que 80 % des incendies sont maîtrisés ou éteints avec moins de 5 sprinklers; 95 % des départs de feux sont maîtrisés par l'installation sprinkler et les 5 % d'échecs restant sont dus aux raisons citées précédemment. Des idées reçues existent sur les sprinklers. Certains films laissent penser qu'approcher une source de chaleur d'une tête de sprinkler déclencherait l'intégralité des têtes présentes dans le bâtiment de bureau qui les abrite. Or dans la réalité, en dehors d'installations industrielles très particulières, chaque tête est indépendante et n'apporte de l'eau que sur la zone enflammée. Fin du texte.

Les incendies représentent une menace constante pour les personnes et les biens. Lorsqu'il est incontrôlé, un incendie peut être très meurtrier. La lutte contre le feu peut sembler être une activité désorganisée, mais elle requiert une attaque planifiée par des hommes entraînés, opérant comme une équipe sous la direction d'officiers expérimentés. Selon les circonstances de l'incendie, les véhicules utilisés par les sapeurs-pompiers sont très différents. A chaque type de situation correspond un véhicule spécifique et lors d'une alerte, les sapeurs-pompiers doivent rapidement identifier le type d'incendie auquel ils sont confrontés pour pouvoir déterminer les véhicules adéquats à mobiliser. Les éléments à prendre en compte sont par exemple la localisation du sinistre, l'accessibilité ou non d'une alimentation en eau, les caractéristiques du lieu (l'architecture du bâtiment en milieu urbain ou le relief en forêt) ou encore les conditions climatiques. Un camion-citerne complètement équipé et géré par trois ou quatre hommes constitue la base d'une équipe de sapeurs-pompiers. Ils font l'objet d'une normalisation très précise. Ce véhicule possède un châssis massif, un puissant moteur à essence et une ou deux lances orientables fixées au-dessus ou derrière la cabine. On peut distinguer les camions-citernes à eau (les plus répandus) et les camions-citernes à poudre ou encore à mousse. Les camions-citernes à eau (environ 5 500 en France) se classent en trois catégories : légers, moyens, lourds (6 000 litres d'eau) et même superlourds (trois essieux, 13 000 litres d'eau). Ce sont des engins tout terrain puissants, très stables, toutes roues motrices avec pneus basse pression, à cabine renforcée ou protégée par des barres de sécurité. Les camions-citernes à poudre sèche fonctionnent comme de très gros extincteurs. Ils ont une forte puissance d'action et sont parfois jumelés avec un dispositif à mousse physique ou à neige carbonique. Ils interviennent sur des feux de matériaux que l'eau ne peut éteindre ou qui pourrait même être dangereuse d'emploi. Ils sont mobilisés chez les sapeurs-pompiers communaux pour les feux d'hydrocarbures, de produits chimiques, de certains métaux. Ce sont des réservoirs de poudre (jusqu'à 4,5 tonnes) dont elle est chassée par un gaz sous pression, dioxyde de carbone ou azote. Les camions-citernes à mousse sont proches parents des camions-citernes à poudre mais ils emportent de l'émulseur (jusqu'à 1 500 litres)

produisant et projetant de la mousse, ou plutôt « des » mousses car il en existe divers types. Ils combattent essentiellement les feux d'hydrocarbures (stations d'essence, camion transportant du pétrole, raffineries...). La grande échelle est le véhicule utilisé par les sapeurs-pompiers qui comprend une échelle escamotable de grande hauteur. Le terme « grande échelle » est utilisé par le grand public, les professionnels parlent tout simplement « d'échelle », ou bien utilisent des abréviations selon le type particulier de modèle (EPA, EPSA). La grande échelle permet d'effectuer des sauvetages dans les étages lorsque les accès normaux sont difficiles, d'évacuer des personnes, d'acheminer des personnels et des matériels, d'arroser par l'extérieur. Certaines échelles disposent de tuyaux rigides télescopiques qui permettent d'acheminer de l'eau en haut, à l'image d'une colonne sèche. Le haut de l'échelle est en général relié au bas par un interphone. Les premiers modèles étaient actionnés à la main, par des manivelles. Les modèles modernes sont actionnés par des moteurs. Dans de nombreux cas, l'échelle est munie d'une nacelle qui monte et descend, en fixe ou amovible, et assure ainsi une grande sécurité. Certains corps de pompiers s'équipent d'élévateurs (nacelle sur bras hydraulique). Un risque important à prendre en compte est le déséquilibre du véhicule. En effet, l'échelle constitue un bras de levier qui amplifie les forces. En conséquence, le véhicule une fois en place est « soulevé » par des vérins hydrauliques afin de ne plus reposer sur les roues (les roues touchent le sol mais ne supportent aucun poids) : le mouvement des suspensions du véhicule mettrait en danger sa stabilité. L'inclinaison de l'échelle est également limitée par la hauteur déployée. Un autre risque inhérent à la grande échelle est la chute des personnes. Les pompiers doivent donc être munis d'une longe pouvant absorber le choc de la chute. Mais ce dispositif ne peut être mis en place qu'avec une nacelle, ou bien lorsque le pompier est arrivé en haut. Comme son nom l'indique, le véhicule de secours aux victimes permet d'intervenir sur des prompts secours, sur des accidents de circulation sur la voie publique. Il peut aussi intervenir à domicile sur demande du Samu en cas de carence d'ambulance privée ou bien lorsque l'urgence nécessite un délai très court. Il dispose d'une signalétique particulière. Sa couleur est rouge, sauf le toit et les pare-chocs qui

sont blancs. Il a une bande jaune rétro-réfléchissante sur les côtés. Il est muni de gyrophares bleus, signal spécial réservé aux véhicules d'intérêt général à caractère prioritaire. Il est également muni d'une rampe de feux orange à l'arrière, permettant de signaler de loin un accident. Il possède une sirène à deux tons (pin-pon-pin-pon...), signal spécial réservé aux véhicules d'intérêt général à caractère prioritaire. Ce véhicule peut mener à bien des opérations de reconnaissance, de dégagement et de relevage, d'exécution de gestes d'urgence et de réanimation nécessités par la mise en condition d'une victime pour son transport, de transport de victimes et d'exécution de soins médicaux d'urgence et de réanimation si le véhicule est médicalisé, c'est-à-dire si un médecin sapeur-pompier avec son matériel monte à bord. Tout bâtiment destiné à accueillir du public est soumis au respect de normes anti-incendie strictes. Ces normes de sécurité extrêmement contraignantes sont parfois un véritable casse-tête pour les entrepreneurs et les responsables d'établissement mais elles permettent indéniablement de sauver des vies. Quelque soit le type d'établissement, la possession d'équipement de prévention des incendies est souvent obligatoire. Maintenus en bon état de marche, dans les entreprises ou les lieux publics, ils permettent de se prémunir efficacement contre les incendies. Les extincteurs sont des appareils portables qui fournissent de l'eau ou d'autres agents extincteurs dans le but d'éteindre les feux de petite taille. Les extincteurs les plus répandus contiennent de la mousse, mais certains modèles peuvent contenir un gaz liquéfié ou tout simplement de l'eau. Les extincteurs à eau sont utilisés pour combattre les feux de classe A, c'est-à-dire les feux qui impliquent le bois, le papier, les vêtements ou d'autres combustibles solides. Les extincteurs à mousse contiennent de l'eau et un agent moussieux. La mousse est adaptée aux feux de classe A et aux feux de classe B, ces derniers impliquant des liquides inflammables comme l'essence ou l'huile de cuisine. Les extincteurs à gaz liquéfié contiennent du dioxyde de carbone ou un gaz appelé Halon. Ils sont utilisés pour combattre les feux de classe B et de classe C, ces derniers impliquant des installations électriques en activité. Les extincteurs sont des appareils qui permettent de projeter, à l'aide d'une pression intérieure et en dirigeant le jet, un

agent extincteur sur un foyer d'incendie. La pression est fournie soit par une compression préalable, soit par une réaction chimique ou la libération d'un gaz auxiliaire, soit enfin par la manœuvre d'une pompe. On différencie les extincteurs entre eux en fonction de la nature de l'agent contenu, des conditions d'utilisation de chacun d'eux et de leurs possibilités. Les capacités usuelles varient de 0,2 litre à 12 litres pour les extincteurs sur roues ; certains constructeurs fabriquent des appareils de plus grande capacité (250 à 500 litres). Pour les appareils à mousse ou à liquide ignifuge la pression est obtenue par la réaction d'une solution acide sur une solution basique. Les appareils à eau et à poudre sont, soit à pression permanente, soit mis en pression au moment de l'emploi par l'ouverture d'une cartouche de gaz, ou sparklet. Les appareils chargés d'anhydride carbonique ou d'hydrocarbures halogénés sont à pression permanente. Les détecteurs de fumée constituent un moyen de détection précoce des feux à un stade où leur petite taille permet de les éteindre facilement. Ils contribuent également à la sécurité en permettant aux personnes de quitter les lieux à temps. Le fonctionnement des détecteurs de fumée repose sur la conductibilité de l'air. Ils contiennent une chambre d'ionisation dont l'air est rendu conducteur par la présence d'une source radio-active. Lorsqu'une fumée ou un gaz de combustion pénètre dans cette chambre, la conductibilité de l'air ionisé diminue, ce qui provoque l'alarme. Il existe plusieurs variantes de ce procédé. Bien que les détecteurs de fumée soient le dispositif le plus répandu, on compte également les détecteurs de chaleur et de rayonnement parmi les différents types de détecteurs d'incendie. Les détecteurs de chaleur sont, selon les types, sensibles à la vitesse d'élévation de la température, ou au dépassement d'un seuil de température. Le premier type se déclenche lorsque la température augmente à une rapidité anormale. Il est fréquemment réglé pour se déclencher lorsque la température augmente à plus de quinze ou vingt degrés par minute. Le deuxième type se déclenche lorsque la température dépasse un certain seuil, habituellement cent soixante cinq degrés. Les détecteurs optiques sont le plus souvent constitués d'une cellule photorésistante ou émissive éclairée en permanence par une source de lumière, le déclenchement de l'alarme se produisant lorsqu'un écran de

gaz ou de fumée s'interpose entre la source de lumière et la cellule. Signalons enfin l'existence de détecteurs fonctionnant en cas de variation de la conductivité électrique de l'atmosphère. Les détecteurs, quel que soit leur type, sont reliés à un tableau de contrôle dont le rôle est de transformer le signal reçu en un avertissement sonore ou lumineux permettant de localiser le danger. Ils sont fréquemment utilisés pour déclencher le fonctionnement d'installations 'sprinklers'. Un système de sprinklers est une installation d'extinction automatique à eau. Le système se compose de canalisations d'eau sous pression placées au plafond des locaux à protéger et équipées de têtes de projection, ou sprinklers, et une ou des sources d'eau alimentant ce réseau. Sa mise en œuvre automatique le rend opérant jour et nuit. Le système libère une quantité d'eau adaptée au sinistre redouté sur une zone où un début d'incendie est détecté dans les plus brefs délais. L'arrosage est maintenu pour contenir le feu jusqu'à l'intervention des secours et fermeture manuelle des vannes. Aucune surveillance humaine n'est requise, si ce n'est pour arrêter l'installation après extinction du feu (par le sprinkler ou par les secours). L'efficacité du système repose sur une adéquation parfaite entre, d'une part, le débit des têtes, leur densité d'implantation et les ressources en eau disponibles, d'autre part, la nature des biens protégés (potentiel calorifique et débit calorifique, vitesse de propagation, solide, liquide ou gazeux...) et leur mode d'entreposage. La majeure partie des cas où l'installation sprinkler a échoué ressort d'actes de malveillance ou d'un dépassement des capacités de stockage prévues à la conception. Les statistiques montrent que 80 % des incendies sont maîtrisés ou éteints avec moins de 5 sprinklers; 95 % des départs de feux sont maîtrisés par l'installation sprinkler et les 5 % d'échecs restant sont dus aux raisons citées précédemment. Des idées reçues existent sur les sprinklers. Certains films laissent penser qu'approcher une source de chaleur d'une tête de sprinkler déclencherait l'intégralité des têtes présentes dans le bâtiment de bureau qui les abrite. Or dans la réalité, en dehors d'installations industrielles très particulières, chaque tête est indépendante et n'apporte de l'eau que sur la zone enflammée. Fin du texte.

Annexe 11 : Questions utilisées dans l'expérience 3 pour le texte d'entraînement

Question 1 : *Que contiennent les extincteurs les plus répandus ?*

Phrase réponse (page 3) : 'Les extincteurs les plus répandus contiennent de la mousse, mais certains modèles peuvent contenir un gaz liquéfié ou tout simplement de l'eau.'

Question 2 : *Sur quoi repose le fonctionnement des détecteurs de fumée ?*

Phrase réponse (page 4) : 'Le fonctionnement des détecteurs de fumée repose sur la conductibilité de l'air.'