

**L'écriture manuscrite : analyse comparative  
et méthodes d'études de leur dynamique.  
L'exemple du logiciel *Eye and Pen***

G. Caporossi  
D. Alamargot

G-2013-72

October 2013



L'écriture manuscrite : analyse comparative  
et méthodes d'études de leur dynamique.  
L'exemple du logiciel *Eye and Pen*

**Gilles Caporossi**

*GERAD & HEC Montréal  
Montréal (Québec) Canada, H3T 2A7*

`gilles.caporossi@hec.ca`

**Denis Alamargot**

*CeRCA, Université de Poitiers  
86000 Poitiers, France*

`denis.alamargot@univ-poitiers.fr`

October 2013

*Les Cahiers du GERAD*

G-2013-72

Copyright © 2013 GERAD

**Résumé :** L'écriture est une activité humaine complexe qui implique l'utilisation par le scripteur d'outils aujourd'hui variés (papier-crayon, papier-clavier, écran-clavier-souris, tablette-doigt-stylet), produisant une trace qu'un lecteur sera apte à déchiffrer. Avec le développement technologique, et plus récemment de l'informatique, certaines tâches liées à la réalisation du tracé ont été cédées à la machine, permettant à l'humain de se concentrer sur d'autres composantes de l'écriture. Toutefois, cette évolution ne conduit pas forcément à une facilitation de l'activité du scripteur. En utilisant les informations que donne l'enregistrement des mouvements oculaires et de l'écriture durant sa création, nous présentons ici une analyse de cette activité.

## Introduction

L'écriture est une activité humaine complexe qui implique l'utilisation par le scripteur d'outils aujourd'hui variés (papier-crayon, papier-clavier, écran-clavier-souris, tablette-doigt-stylet), produisant une trace qu'un lecteur sera apte à déchiffrer. La première forme d'écriture, inventée par les Sumériens, recourait à un calame (stylet) pour graver des symboles sur une tablette d'argile. Par extension et dans ses principes, le stylo peut être ainsi considéré comme un moyen d'écriture ancestral et universel. Avec cet outil, le scripteur doit créer complètement les signes (lettres, espaces, ponctuation) qui composent la trace. L'écriture manuscrite comporte un aspect plastique qui s'approche du dessin et le scripteur est responsable de la lisibilité des lettres. Avec la mécanisation, l'imprimerie puis la machine à écrire ont pris en charge et standardisé la formation des lettres. Dans le cas de la machine à écrire, seuls la forme, l'espacement et l'alignement des lettres ont été cédés à l'outil. Le rédacteur doit encore réaliser la mise en page. Avec l'informatisation, et les logiciels de traitement de texte, la dématérialisation de la trace a permis au scripteur de s'affranchir de cette dernière tâche. Les retours à la ligne et l'espacement des mots sont automatiquement calculés au cours de l'écriture. L'avènement des tablettes tactiles modifie à nouveau les conditions d'écriture, en alliant l'intérêt du traitement de texte à la possibilité d'interventions manuelles directes sur le texte (avec ou sans stylet), comme dans le cas du papier-crayon.

Ainsi, avec le développement technologique, et plus récemment de l'informatique, certaines tâches liées à la réalisation du tracé ont été cédées à la machine, permettant à l'humain de se concentrer sur d'autres composantes de l'écriture. Toutefois, cette évolution ne conduit pas forcément à une facilitation de l'activité du scripteur. Chaque outil comporte son propre système de contraintes et si l'informatisation en lève certaines, elle en introduit d'autres. Les outils d'écriture peuvent être comparés selon deux dimensions principales : la disposition et la réalisation de la trace.

Selon l'outil considéré, la disposition de la trace peut être statique ou dynamique, ce qui change les possibilités et conditions de modification. Par exemple, si le produit final est comparable entre la machine à écrire et le traitement de texte, dans le premier cas, la disposition est statique et quasiment définitive, avec une possibilité très limitée d'effacer ou d'ajouter des portions de texte. De ce point de vue, la machine à écrire est plus contraignante que le stylo avec lequel il est toujours possible d'opérer, de façon rapide et aisée, des retraits (ratures ou effacement selon le crayon) et des ajouts sans contrainte spatiale particulière. Ces éditions sont toutefois sans commune mesure avec les opérations de suppression, insertion, remplacement et déplacement opérables dans un traitement de texte, par le biais de la souris ou de raccourcis-clavier. Ces possibilités du traitement de texte ne confèrent toutefois qu'une liberté relative. La disposition, totalement imposée, ne tolère aucun ajout en dehors de la ligne unique d'écriture alors qu'il est toujours possible d'écrire entre les lignes avec une machine à écrire, en manipulant la position de la feuille de papier. La particularité du traitement de texte est que cette disposition, jamais définitive, est dynamique. La position de l'ensemble des mots du texte évolue au fur et à mesure des ajouts et des retraits. La question qui se pose alors est celle de la mémorisation possible, par le scripteur, de la position des informations dans son texte. Dans le cas d'une trace statique (ici papier-crayon), le rédacteur mémorise de façon implicite la position des mots sur la page (Le Bigot, Passerault, & Olive, 2010). Cette représentation visuo-spatiale, permet de localiser rapidement et efficacement des informations dans le texte. Elle joue vraisemblablement un rôle dans le guidage de la relecture pour réviser ou poursuivre le texte. Dans le cas d'une trace dynamique (traitement de texte), il est probable que le scripteur, face à la modification spatiale fréquente des mots, soit amené à opérer des campagnes de relectures plus longues et fréquentes pour maintenir temporairement les éléments du texte à défaut de pouvoir construire une représentation visuo-spatiale stable en mémoire à long terme ou en mémoire épisodique.

Deux modes de réalisation de la trace coexistent. Avec l'écriture manuscrite, la trace émerge directement du mouvement du stylo sur une feuille de papier ou encore du doigt ou du stylet sur un écran tactile. Avec l'écriture dactylographique, la trace est produite mécaniquement ou électroniquement par un mouvement qui n'a pas de relation directe ou analogique avec le tracé ; comme l'appui d'un doigt sur une touche du clavier physique de la machine à écrire et de l'ordinateur, ou du clavier virtuel de la tablette tactile. Ces différences physiques entre les deux modes de réalisation induisent des différences quant à la définition des unités de production élémentaires et aux traitements cognitifs du scripteur.

**(i) L'unité élémentaire :** Dans le cas de l'écriture dactylographique, l'unité de production élémentaire est le caractère dont la définition, simple, correspond à une touche appuyée, espace compris. Dans le cas de l'écriture manuscrite, qui consiste en un mouvement continu, l'unité élémentaire est le « stroke » que l'on peut définir comme un segment de courbe délimité par un changement d'orientation et/ou caractérisé par un pic de vitesse. Par exemple, le tracé de la lettre « e » par un adulte expert comporte deux strokes. Le nombre de strokes caractérisant un mot n'est pas stable et dépend du niveau d'automatisation graphomotrice du scripteur (Chartrel & Vinter, 2006), du style d'écriture (cursif, script) et enfin de la stratégie d'écriture qui peut consister à positionner les points et les accents des lettres à la fin du mot. L'écriture dactylographique se compose donc d'une succession d'événements ponctuels alors que l'écriture manuscrite, par essence continue, doit être découpée en unités cinétiques ne correspondant pas forcément à un caractère et dépendant du scripteur.

**(ii) Les traitements cognitifs :** Dans le cas de l'écriture dactylographique, l'action motrice s'exerce sur le clavier ou la souris alors que la trace émise apparaît sur l'écran. L'exécution de la trace est dissociée spatialement de sa matérialisation. Cette distance oblige à écrire : soit sans pouvoir regarder les touches du clavier lorsque l'œil fixe l'écran ; soit en regardant les touches du clavier sans pouvoir contrôler la production à l'écran. À défaut d'être dactylographe expert, l'écriture avec un clavier oblige à un partage attentionnel qui peut avoir des conséquences sur l'exécution graphomotrice, le contrôle du produit mais également la mise en œuvre des processus rédactionnels. Johansson, Wengelin, Johansson et Holmqvist (2010) ont montré que les scripteurs, dont l'habitude est de regarder l'écran plutôt que le clavier, produisent plus rapidement des textes plus longs qu'ils relisent plus longtemps sans pourtant que la qualité en soit augmentée. Dans le cas de l'écriture manuscrite, le texte est produit à l'endroit où l'action motrice est exercée. Le crayon et la trace émise sont présents simultanément dans le champ visuel du scripteur, ce qui permet de focaliser l'attention sur la trace en formation tout en inspectant, par des saccades régressives courtes ou en vision parafovéale, le texte immédiatement produit. Cette « concentration » des traitements pourrait expliquer la supériorité des textes manuscrits sur les textes dactylographiés. Par exemple, Connelly, Gee et Walsh (2007) ont comparé la fluence manuscrite et dactylographique de 300 enfants de 4 à 11 ans copiant une phrase contenant toutes les lettres de l'alphabet (un pangramme). Les résultats montrent une forte corrélation entre les deux fluences, mais avec une supériorité de l'écriture manuscrite, quel que soit l'âge. Dans une seconde expérience, les auteurs ont analysé la qualité des textes produits par des élèves de CM2 et de 6<sup>e</sup> dans les deux modalités manuscrite et dactylographique. Les résultats montrent une meilleure qualité des textes manuscrits. L'écriture dactylographique entraîne un retard de 2 ans des performances rédactionnelles. Seuls les enfants ayant reçu un entraînement dactylographique important semblent pouvoir tirer profit du traitement de texte (cf. sur ce point : Christensen, 2004 ; Rogers & Case-Smith, 2002). Finalement, les différences entre l'écriture manuscrite et l'écriture dactylographique ne sont pas aussi évidentes qu'il y paraît et l'utilisation d'un clavier, coûteuse sur le plan attentionnel, s'opère au détriment des processus rédactionnels de plus haut niveau. Dans cette dialectique, le cas de la tablette tactile mérite d'être souligné. La modalité d'écriture en effet est hybride : non seulement le clavier virtuel est proche de la zone d'écriture (ce qui facilite une focalisation attentionnelle) mais les opérations d'édition voire de scription peuvent s'opérer manuellement au sein du texte (comme dans le cas d'un crayon).

## 1 L'écriture manuscrite

Les progrès technologiques conduisent à penser que l'écriture dactylographique va supplanter l'écriture manuscrite. S'il semble que, trop contraignante, la machine à écrire soit bientôt un outil du passé, le stylo, par son accessibilité et sa primauté dans les apprentissages, reste très utilisé, qu'il s'agisse de prendre des notes, de réviser un texte ou de rédiger des avant-textes. Comme nous l'avons vu, des études comparatives montrent, chez les enfants, un coût supplémentaire de l'utilisation du clavier, d'autres études montrent un effet facilitateur de l'écriture manuscrite chez l'adulte et l'enfant, concernant l'apprentissage et la reconnaissance des caractères. Des expériences menées chez l'adulte par Longcamp, Boucard, Gilhodes et al. (2006, 2008) montrent que la reconnaissance de caractères isolés est plus rapide et efficace lorsque ces caractères ont été appris au cours de séances d'écriture manuscrite plutôt que dactylographique. L'analyse des zones cérébrales impliquées indique que, dans le cas d'un apprentissage manuscrit, les zones motrices ayant servi à tracer

les lettres sont également activées durant la lecture. Les mouvements spécifiques d'écriture seraient ainsi mémorisés au cours l'apprentissage manuscrit et contribueraient à la reconnaissance des caractères. Cet effet de facilitation a été également montré chez l'enfant par Longcamp, Zerbato-Poudou et Velay (2005). Les performances de reconnaissance de lettres sont meilleures chez des enfants pré-scolaires qui ont appris ces lettres en les écrivant de façon manuscrite plutôt que dactylographique. L'étude de l'écriture manuscrite s'avère ainsi indispensable pour approfondir ces effets au-delà de la question de l'utilisabilité des outils. Sur ce plan, la généralisation des tablettes tactiles redonnent également tout son intérêt à l'analyse de l'activité graphomotrice et de sa dynamique.

## 1.1 L'analyse de la dynamique de l'écriture manuscrite

L'écriture manuscrite, dans sa forme cursive, se compose d'un lent mouvement de translation issu de mouvements plus réduits, généralement effectués dans le sens anti-horaire. Si à un moment donné, le stylo se situe à une certaine position, il est en mouvement dans une direction précise, avec une certaine vitesse et une certaine accélération. L'évolution du mouvement dans le temps (vitesse et accélérations) dépend non seulement de la trace que l'on cherche à produire (impliquant un nombre minimal de strokes), mais également du niveau d'automatisation graphomotrice du scripteur ainsi que des traitements cognitifs de plus haut niveau engagés parallèlement à l'écriture. Ainsi, la dynamique de l'écriture – les pauses et débits – renseigne sur le déroulement des traitements, en complément de l'analyse du produit fini (Chesnet & Alamargot, 2005).

Dans le chapitre précédent, Wengelin s'intéressait à l'écriture dactylographique à l'aide d'un traitement de texte. La collecte de données se faisait à l'aide d'un logiciel « espion » intégré au traitement de texte. Ce mode de collecte de données ne modifie pas les habitudes du rédacteur qui peut même l'ignorer. Dans le cas de l'écriture manuscrite, l'enregistrement vidéo du mouvement du crayon sur la page de papier a été remplacé par un crayon capable de numériser la trace et le mouvement associé (stylos numériques) ou par un crayon associé à une tablette graphique et relié à un ordinateur. Si la taille encore importante des stylos numériques peut gêner la préhension des jeunes enfants, l'écriture sur tablette graphique avec un crayon magnétique, de taille ordinaire et dont la mine écrit, permet d'enregistrer la dynamique dans des conditions relativement familières ; la tablette servant de sous-main. Le mouvement continu de l'écriture manuscrite est échantillonné par l'ordinateur à une fréquence variant entre 100 et 200 Hz selon les modèles de tablettes.

À partir des années 1980, le paradigme des pauses et débits d'écriture a surtout suscité des avancées dans la compréhension de la graphomotricité et du contrôle moteur impliqué dans l'écriture (van Galen, 1980, 1991). Dès lors qu'il s'est agi de considérer le niveau cognitif, l'interprétation des pauses est apparue plus problématique. Les pauses d'écriture n'ont pas de signification intrinsèque et leur interprétation cognitive suppose de considérer le contexte sémantique et linguistique de leur apparition et variation. Cette covariation entre la durée et le contexte d'une pause a été décrit à différentes reprises : à l'oral, à l'écrit, à différents âges et pour différents types de discours ou de textes (Foulin, 1995, pour une revue). Les résultats, convergents, indiquent qu'une pause est d'autant plus longue qu'elle précède une unité linguistique de plus haut niveau (un mot, un syntagme, une proposition grammaticale, une phrase, un paragraphe). Le postulat sur lequel s'appuie l'interprétation de cette distribution hiérarchique est que la durée d'une pause traduit le nombre et/ou la complexité des traitements s'y déroulant (Chanquoy, Foulin, & Fayol, 1990 ; Foulin, 1998).

Toutefois, selon Chesnet et Alamargot (2005), trois critiques peuvent être adressées à ce modèle hiérarchique. (i) Il ne fournit aucune indication du temps consacré à un traitement donné pendant une pause. Durant une pause, plusieurs traitements peuvent se succéder, et ce quelle que soit la position hiérarchique de cette pause. (ii) Il ne rend pas compte de traitements se déroulant parallèlement à l'écriture, considérant que les traitements contrôlés sont opérés pendant les pauses d'écriture alors que la programmation graphomotrice (suffisamment automatisée) est effectuée pendant la période d'écriture qui suit la pause. Pourtant, l'existence de traitements contrôlés, se déroulant parallèlement à l'exécution graphomotrice, doit être également considérée (Alamargot, Dansac, Chesnet, & Fayol, 2007 ; Chanquoy, Foulin, & Fayol, 1990 ; Foulin, 1998 ; Lambert, Alamargot, Larocque, & Caporossi, 2011 ; Olive & Kellogg, 2002 ; Olive & Piolat, 2002). (iii) Il ne tient pas compte de la gestion spécifique des traitements à l'écrit. Contrairement à l'oral, l'écriture peut être interrompue à tout moment. Cette relative liberté dans la gestion des traitements est accrue et facilitée par la présence permanente de la trace écrite (Fayol, 1997). Le rédacteur peut s'engager a priori à tout moment

et pour une durée variable dans une activité de (re)lecture de ses écrits, pour les réviser ou les poursuivre (cf. Alamargot, Chesnet, Dansac, & Ros, 2006 pour une illustration).

## 1.2 Identifier les traitements pendant les pauses et débits : intérêt des mouvements oculaires

La question qui se pose est celle de l'identification et de la description des traitements rédactionnels qui échappent à la prédiction du modèle hiérarchique. L'analyse des mouvements oculaires pendant les périodes de pauses et d'écriture peut éclairer en partie cette mise en œuvre. Alors que le paradigme des pauses et débits analyse « l'output » de la production écrite, c'est-à-dire les caractéristiques temporelles de l'exécution graphomotrice, son pouvoir heuristique peut être augmenté par l'adjonction d'une analyse de « l'input » de la production écrite, c'est-à-dire ici des informations visuelles traitées en aval, sur le texte en cours et/ou sur des sources documentaires.

Il s'agit là de l'idée de base qui a motivé l'invention et l'élaboration du logiciel *Eye and Pen* (Chesnet & Alamargot, 2005 ; Alamargot, Chesnet, Dansac, & Ros, 2006). L'étude conjointe des mouvements oculaires et graphomoteurs est pertinente pour trois raisons complémentaires. (i) Le recueil des mouvements oculaires sur la trace écrite ne modifie pas le déroulement des traitements rédactionnels. Il préserve le caractère non intrusif de l'étude des pauses et permet une analyse continue des traitements. (ii) L'analyse des fixations et saccades oculaires permet d'établir une description spatiale et temporelle fine des informations visuelles traitées à partir de l'environnement de la tâche (sources documentaires et/ou du texte en cours). La qualité de cette description éclaire le fonctionnement de la composante visuelle, et par là même, précise les caractéristiques des traitements rédactionnels reposant sur cette composante – notamment les rôles des fixations et saccades oculaires pendant l'écriture. (iii) En ce sens, la catégorisation des prises d'informations visuelles, selon qu'elles portent sur les sources ou sur la trace écrite, et interviennent pendant les pauses ou l'écriture, permet de dépasser les trois limites inhérentes au modèle hiérarchique d'interprétation des pauses et débits.

### 1.2.1 Présentation des mouvements oculaires

Comme le décrivent Chesnet et Alamargot (2005), les travaux s'intéressant aux caractéristiques de l'activité oculaire sont relativement anciens (Dearborn, 1906) mais ce n'est qu'à partir des années 1970–80 que les évolutions techniques et technologiques ont permis un réel essor des recherches (cf. par exemple : O'Reagan, 1975). Au cours des deux dernières décennies, les approches se sont considérablement diversifiées et les mouvements oculaires ont été abordés aussi bien comme objet d'étude que comme indicateurs de traitements cognitifs (cf. Hyönä, Radach, & Deubel, 2003). (i) Dans le premier cas, il s'agit (a) de définir les différents paramètres oculaires comme les saccades, les fixations, les regroupements de fixations – « gazes » (Inhoff & Radach, 1998) et (b) de déterminer les facteurs physiologiques, cognitifs, développementaux et environnementaux susceptibles d'influencer ces paramètres (Katsanis, Iacono, & Harris, 1998). Les travaux portant sur le contrôle des saccades, le rôle de l'attention dans ce contrôle ou encore la perception visuelle d'images ou de scènes peuvent être cités dans ce cadre (Juhász, Pollatsek, Hyönä, Drieghe, & Rayner, 2009 ; Kaakinen, Hyönä, & Viljanen, 2011 ; Rayner, 1995, 1998 ; Reichle, Rayner, & Pollatsek, 2003). (ii) Dans le second cas, les paramètres oculaires sont considérés comme des indicateurs de traitements dont la mise en œuvre et le déroulement impliquent à minima les représentations construites à partir des prises d'informations visuelles. Dans ce contexte, les mouvements oculaires sont utilisés pour : identifier les stratégies de raisonnement et de résolution de problème, décrire les modes d'utilisation d'une interface homme-machine ou étudier les traitements en jeu dans la lecture – notamment le décodage et/ou la compréhension (cf. entre autres : Hyönä, Lorch, & Kaakinen, 2002 ; Kaakinen & Hyönä, 2010 ; Kennedy, Radach, Heller, & Pynte, 2000 ; Rayner, 1998 ; Salvucci & Anderson, 2001 ; Underwood, 1999).

### 1.2.2 Mouvements oculaires et production écrite : définir les paramètres

**(i) Fixations et saccades : des paramètres généraux :** Largement étudiés dans le cadre de la lecture, les paramètres oculaires comme les saccades, les fixations et les gazes peuvent être adaptés aux recherches sur la production écrite. Notamment, les fixations régressives au cours de l'écriture (retour sur la trace

précédemment écrite) peuvent être abordées comme elles le seraient en lecture et témoignent d'une prise d'information contrôlée. La durée des fixations est, dans ce cas, relativement proche des valeurs répertoriées dans les tâches classiques de lecture (Rayner, 1998). C'est par exemple ce comportement (saccade et fixation régressive) qui est principalement analysé, dans les études que nous avons effectuées sur la production de l'accord sujet-verbe, dont une application est décrite plus tard dans ce chapitre.

En revanche, la situation d'écriture peut susciter des comportements oculaires particuliers qu'il reste à étudier. Ainsi, lorsque l'écriture se forme, il est fréquent que l'œil « suive » la progression lente (de 6 à 10 degrés/sec) du crayon. L'application des algorithmes classiques de calcul des fixations ou des saccades, basés sur des critères de distance, vitesse et/ou accélération, conduit alors à une surestimation de la durée des fixations et une mauvaise estimation de leur barycentre. En effet, une succession de fixations courtes, relativement stationnaires, est interprétée comme une fixation unique. Il convient alors de qualifier ces mouvements lents de l'œil « accompagnant » le crayon et de s'interroger sur l'information susceptible d'être traitée.

Une analyse plus approfondie du signal oculaire montre la présence de deux modes de mouvements lents durant l'écriture et selon la cinétique du crayon : des poursuites (smooth pursuits) et des micro-saccades déplaçant progressivement le point de fixation (cf. Alamargot, Leuwers, Caporossi, et al., 2011; Caporossi, Alamargot, & Chesnet, 2004). Dans le cas de la poursuite, par exemple, la distance entre l'œil et le caractère tracé est faible et la vitesse de l'œil, réduite. Considérant la vitesse du crayon chez l'adulte, ce comportement est assimilable à une poursuite oculaire telle que décrite dans la littérature dans des tâches de suivi de cibles (les seuils de vitesse minimum et maximum généralement considérés pour identifier une poursuite sont de 5.35°/s et 31.8°/s, avec une durée minimale de la poursuite de 75 ms – Gowen & Miall, 2006).

**(ii) Mouvements lents et micro-saccades : des paramètres spécifiques ?** Le rôle des mouvements lents, assurés par des poursuites et/ou des micro-saccades durant l'écriture, reste encore largement inconnu. Gowen et Miall (2006) ont évalué conjointement les fixations, saccades et poursuites dans une tâche de dessin et de tracé. Miall, Imamizu et Miyauchi (2000) ont montré la présence de micro-saccades au cours de l'écriture. Plusieurs fonctions peuvent être assignées aux mouvements lents de l'œil. Sur le plan graphomoteur, il peut être envisagé que l'œil assure le contrôle morphocinétique de la réalisation des lettres. Chez le scripteur adulte toutefois, le tracé des lettres repose sur l'exécution de programmes moteurs (contrôle proactif) et la privation du feed-back visuel n'a pas de conséquence sur la cinétique du tracé de la lettre, seulement sur la pression qui augmente (Chartrel & Vinter, 2006). Les résultats de Gowen et Miall (2006) montrent que les poursuites du crayon sont plus fréquentes lorsque la tâche est moins coûteuse sur le plan cognitif. La poursuite servirait alors au « simple » contrôle topocinétique du tracé. Sur le plan psycholinguistique, il peut être fait l'hypothèse que l'œil, en suivant lentement le crayon, assure également une supervision post-graphique de l'unité produite.

## 2 Description du logiciel *Eye and Pen*

Le logiciel *Eye and Pen* permet d'enregistrer les mouvements oculaires (positions de l'œil fournies par l'oculomètre à intervalles réguliers) et les mouvements du stylo sur la tablette graphique (que celle-ci soit classique ou intègre un écran). Ces deux informations sont enregistrées et synchronisées. L'oculomètre, ici un système EyeLink 2 de SR-Research (figure 1) se compose de deux parties principales : un casque équipé de caméras à infrarouge et un ordinateur dédié. Cet ordinateur et la tablette graphique sont ensuite connectés à un second ordinateur sur lequel le logiciel *Eye and Pen* synchronise les deux signaux (œil et stylo).

Les deux signaux enregistrés peuvent ensuite être visualisés en vitesse réelle ou au ralenti grâce à l'interface de visualisation d'*Eye and Pen*. La figure 2 montre la position actuelle du stylo (ici représentée par une petite plume dans le cercle en bas à droite), alors que la position de l'œil est représentée par une croix dans l'autre cercle.

### 2.1 Analyse des données issues de *Eye and Pen*

D'une manière générale, les données brutes issues des systèmes d'enregistrement sont difficiles à exploiter en raison de leur quantité. Qu'il s'agisse d'enregistrements de textes manuscrits ou dactylographiques, un



Figure 1 – Le système d'enregistrement d'*Eye and Pen*

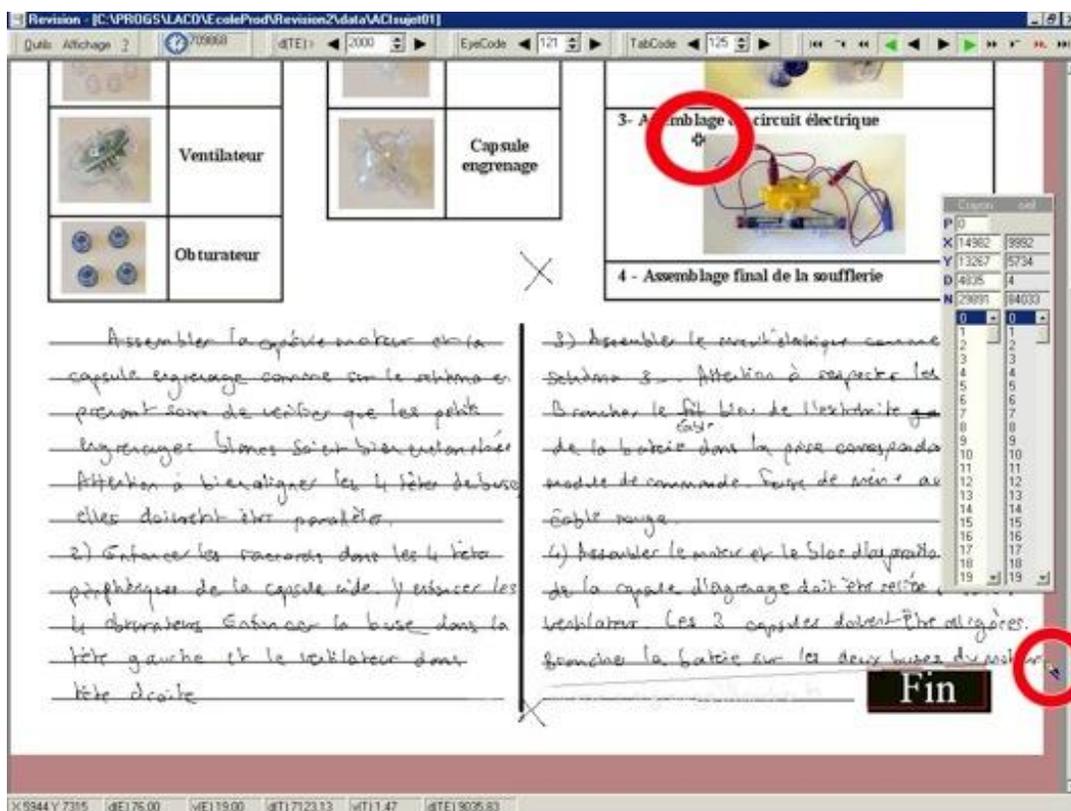


Figure 2 – Capture d'écran de l'interface de visualisation d'*Eye and Pen*

enregistrement de courte durée peut comporter plusieurs milliers d'observations. Ici, chaque observation consiste en une série de paramètres indiquant les coordonnées de l'œil et du stylo, la pression du stylo, ainsi possiblement que l'inclinaison du stylo.

### 2.1.1 Pré-traitement

Une part importante de l'analyse des données consiste à séparer dans un ensemble d'informations la partie pertinente pour l'étude. Une partie des données non-pertinentes consiste en du « bruit ». Selon le niveau d'analyse et l'information recherchée, le bruit à éliminer pourra être de nature différente et plus ou moins facile à écarter. Dans le cas des mouvements oculaires et graphomoteurs, la vitesse est un élément central pour l'analyse. Il est donc important de pouvoir l'évaluer avec une précision satisfaisante. La vitesse n'étant pas fournie par les systèmes, elle doit être évaluée par approximation, en se basant sur les positions successives et le temps associé. Les tablettes graphiques ne sont initialement pas conçues pour des mesures scientifiques et n'ont pas une grande précision temporelle ni spatiale. Toutefois, le logiciel *Eye and Pen* valide et ajuste les données avant de les enregistrer. La perte potentielle de précision n'est nullement préjudiciable aux analyses puisque, même après corrections, la finesse du recueil est telle que les micro-oscillations inhérentes à tout mouvement humain (par la boucle de action/contrôle) sont perceptibles; ce qui est généralement supérieur aux exigences des expériences. Par contre, l'irrégularité de la fréquence d'acquisition des tablettes, et leur fréquence d'échantillonnage différente de celle de l'oculomètre, peut rendre les calculs de vitesse ou d'accélération complexes. L'une des tâches possibles, pour simplifier tout calcul subséquent, est de cadencer les données, ce qui signifie les extrapoler pour avoir, par exemple, une position de l'œil et du crayon toutes les 5 ms.

L'œil est en permanence animé d'un mouvement très rapide d'oscillation appelé « nystagmus », de sorte que même lorsqu'une information est fixée, il n'est pas immobile. Il en va de même pour le stylo dont la trajectoire, en apparence régulière, est en fait une succession d'accélération dans diverses directions, formant finalement le déplacement voulu. Qu'il s'agisse des données issues de l'oculomètre ou de la tablette graphique, ces oscillations se montrent trop importantes pour être ignorées lors des mesures de vitesse et d'accélération. La partie gauche de la figure 3 montre un diagramme de la vitesse telle qu'elle serait mesurée à partir des données brutes. On remarque que, si le profil général est clair, une analyse des pics d'accélération (maximums relatifs) pourrait conduire à une surestimation de leur nombre, comme on peut le voir sur la figure 3. On peut en compter une douzaine sur les données brutes comme on peut les compter sur la figure de gauche, alors qu'il n'y en a en fait qu'un seul (voir figure de droite). La technique à adopter pour limiter ce phénomène consiste à lisser les données en les modifiant légèrement pour réduire les micro-oscillations, comme on le voit sur la partie droite de la figure 3.

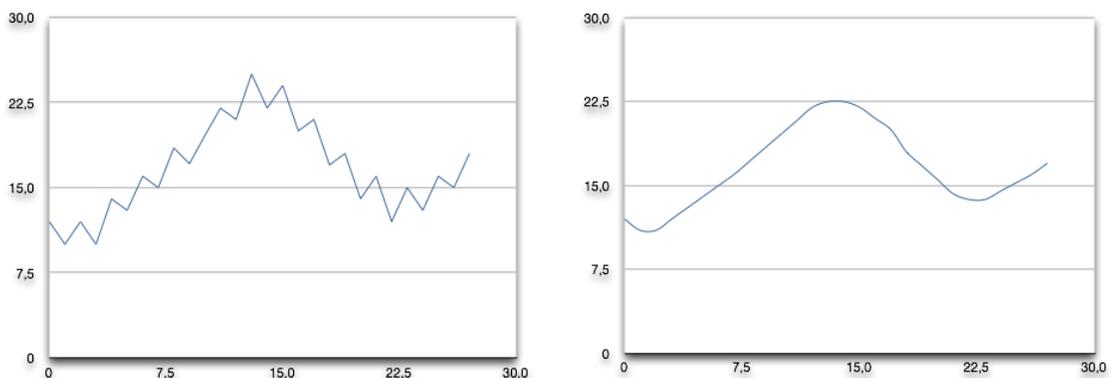


Figure 3 – Vitesse calculée à partir des données brutes (à gauche) et après lissage (à droite). En abscisse le temps, et en ordonnée la vitesse

L'extrapolation des données et leur lissage rendent possible dans un deuxième temps une analyse de la vitesse et de l'accélération entre deux moments par de simples différences. Ces vitesses et accélérations sont indispensables à l'identification des divers types de mouvements oculaires et graphomoteurs.

### 2.1.2 Caractérisation automatique des mouvements oculaires

Largement étudiés dans le cadre de l'activité de lecture, les mouvements oculaires restent encore à être précisés dans le cas de l'écriture. Comme indiqué plus haut, ils se composent, comme pour la lecture, de saccades (déplacement rapide de grande amplitude) et de fixations (l'œil est relativement immobile). Schématiquement, les algorithmes mis au point dans le cadre des études sur la lecture (ou l'exploration d'image) fonctionnent selon deux approches qui consistent soit à identifier les saccades et en déduire les fixations, soit l'inverse.

Dans le cas de l'écriture, la présence de mouvements lents et de microsaccades nécessite de modifier ces algorithmes pour catégoriser les quatre mouvements. Le repérage des différents mouvements n'est pas simple. Par exemple, si une saccade se caractérise par une forte accélération et une vitesse maximale dépassant 31.8 degrés par seconde, elle débute également à une vitesse qui peut être aussi faible que 3 degrés par seconde. Or, à cette faible vitesse, le début de la saccade peut être confondu avec les trois autres mouvements, y compris la fixation pourtant très différente. En se basant sur les seules vitesses, il est ainsi possible de commettre des erreurs quant au moment où la saccade débute, et par conséquent sa durée. Par ailleurs, la saccade et la micro-saccade ont des profils d'accélération similaires et correspondent toutes les deux à des actions de repositionnement de l'œil. La vitesse maximale atteinte, plus importante dans le cas de la saccade (car la vitesse augmente avec la distance dans le cas de la saccade), semble alors être un paramètre pertinent pour les distinguer. Enfin, la micro-saccade et les mouvements lents pouvant avoir des vitesses proches, l'accélération est un paramètre plus pertinent pour les différencier.

Il s'avère au final que ni l'accélération ni la vitesse seules ne permettent de caractériser les quatre mouvements. C'est la combinaison des deux paramètres qui s'avère nécessaire. Un algorithme de caractérisation basé sur des règles simples a été proposé en ce sens par Alamargot, Caporossi et Chesnet (2011). Nous en décrivons les grandes lignes ici.

L'option retenue consistait à décomposer d'abord le mouvement en « mouvements élémentaires » composés d'une accélération suivie d'une décélération. Ces mouvements élémentaires étaient analysés pour en identifier leur nature saccadique ou pas. Les mouvements saccadiques étaient ensuite classés comme saccade ou micro-saccade selon leur vitesse maximum. À cette étape, les mouvements non saccadiques sont regroupés en fonction de leur vitesse maximale. Si elle est faible, il s'agira de fixations. Si elle dépasse un seuil, il s'agira de mouvements lents (glissements ou poursuites). L'algorithme, plus complexe que cette description générale, tient compte d'un ensemble d'autres paramètres tels que la durée du mouvement, mais ce sont là des considérations techniques peu pertinentes ici.

## 3 Applications

Afin d'illustrer la pertinence de l'étude des mouvements oculo-graphomoteurs, l'écriture manuscrite et des mouvements oculaires, nous allons exposer ici les grandes lignes de deux études. La première, menée par Alamargot, Leuwers, Caporossi, Pontart, O'Brien-Ramirez, Pagan, Chesnet, & Fayol (2011), s'intéresse au processus de Formulation. L'analyse des mouvements oculaires pendant l'écriture est utilisée pour approfondir le fonctionnement du contrôle pendant l'accord sujet-verbe. La seconde étude, réalisée par Alamargot, Caporossi, Chesnet et Ros (2011), s'intéresse au fonctionnement du processus de planification. Il s'agissait d'analyser l'influence de la capacité de la mémoire de travail sur l'exploration d'une source documentaire pendant les pauses d'écriture. Comme nous allons le décrire, les données recueillies par le logiciel *Eye and Pen* ont été exploitées pour chacune des deux situations expérimentales, mais les traitements appliqués sont différents en fonction de l'objet d'étude et du degré d'analyse.

### 3.1 Fonctionnement du contrôle durant la production écrite de l'accord sujet-verbe

L'objectif de cette étude était d'étudier la procédure d'accord sujet-verbe au cours de la production de phrases suscitant des erreurs d'attraction (« le chien des voisins mangent »). Il s'agissait de préciser le fonctionnement (conditions de mise en œuvre et dynamique) du contrôle qui précède la production de la flexion

(Largy & Fayol, 2001). Basée en français écrit sur une morphologie flexionnelle plus ou moins silencieuse, la dépendance entre les constituants de la phrase serait sous-tendue chez l'adulte par des traitements automatiques (par exemple, la règle du pluriel) et des traitements contrôlés, notamment un contrôle (Fayol & Got, 1991). Les erreurs d'attraction (i.e. le chien des voisins mangent ; pour les phrases de type N1 de N2 V), aujourd'hui bien attestées, montrent une perméabilité de ces traitements aux caractéristiques sémantiques et/ou phonologiques des constituants, ainsi qu'une dépendance aux ressources mémorielles (cf. Chanquoy & Negro 1996 ; Fayol & Got 1991 ; Fayol, Hupet, & Largy, 1999 ; Fayol, Largy, & Lemaire, 1994 ; Hupet, Fayol, & Schelstraete, 1998 ; Hupet, Schelstraete, Demaeght, & Fayol 1996 ; Largy, Fayol, & Lemaire, 1996).

Le contrôle consiste en une validation avant l'écriture de la flexion afin d'éviter une erreur. Si la présence d'un contrôle a été attestée à différentes reprises (cf. Largy, Cousin & Dédeyan, 2005, pour une synthèse), les questions de la nature, de la localisation et du fonctionnement de ce mécanisme restent implicites ou ne sont que rarement évoquées. Selon Hupet et al. (1996, p. 606), la nécessité d'une étude de la dynamique de la production, et en particulier des latences et débits de production, s'impose pour approcher plus directement l'intervention du contrôle. En complétant l'analyse classique des erreurs par l'analyse des pauses et débits caractérisant les phrases correctes, Largy et Fayol (2001) ont précisé la localisation du contrôle. Ils ont mis en évidence un ralentissement lors de l'écriture de la flexion du verbe, dans la situation la plus contrainte de production de phrases (i.e. lorsque le nom est au singulier et le nom local est au pluriel – condition dite « SP » – le chien des voisins mangent). Ce ralentissement témoignerait de la présence plus marquée du contrôle, limitant l'erreur d'attraction plus fréquemment commise dans cette condition. Si la localisation du contrôle a pu être ainsi précisée, la question du fonctionnement de ce contrôle reste toutefois entière.

Alamargot et al. (2011) font l'hypothèse que si les ressources cognitives le permettent, ce contrôle – alors « interne » – se déroulerait en mémoire de travail. Dans le cas contraire, le contrôle – alors « externe » – consisterait à vérifier le nombre du verbe en fixant (fixations régressives) le nom-sujet, en utilisant la trace déjà écrite comme mémoire externe. Pour vérifier cette hypothèse, les auteurs ont demandé à des étudiants de procéder à un rappel écrit immédiat de phrases relatives simples en « qui » (la mamie qui montre les papis lance une balle), pour lesquelles un nom local incongru en nombre (les papis) avec le nom tête (la mamie) pouvait attirer de manière erronée l'accord du verbe de la proposition principale (lance). L'enregistrement des mouvements oculaires (fixations, saccades et mouvements lents) a été réalisé pendant l'écriture avec le logiciel *Eye and Pen*. Les résultats montrent qu'il existe une sensibilité des saccades de régressions – et dans une moindre mesure des mouvements lents – à la configuration grammaticale des phrases. Dans le cas de phrases promptes à provoquer des erreurs d'attraction (N1 au singulier et N2 au pluriel – SP), l'activité oculaire du scripteur se modifie pour donner lieu à des saccades plus fréquentes et de plus grande amplitude sur le nom-sujet du verbe. Ce ré-encodage du sujet du verbe évite probablement l'erreur d'attraction. Ces premiers résultats sont encourageants et montrent l'intérêt de recourir à l'analyse des mouvements oculaires pour comprendre la nature et les conditions du fonctionnement du contrôle impliqué dans la réussite de l'accord sujet-verbe (cf. Alamargot, Flouret, Pontart et al., 2012).

### 3.2 Influence de la capacité de la mémoire sur les traitements pragmatiques au cours de la rédaction d'un texte procédural

Être un rédacteur compétent renvoie principalement à la capacité d'atteindre un but communicatif, en adaptant finement son texte aux besoins ou aux croyances du lecteur (Berkenkotter, 1981 ; Kirsch, 1991 ; Gregg, Sigalas, Hoy, Wisenbaker, & McKinley, 1996 ; Wong, 2005). Cette capacité, qui s'acquiert graduellement avec l'âge et la pratique (Midgette, Haria, & McArthur, 2008), implique de pouvoir maintenir active une représentation du lecteur qui va jouer un rôle dans la gestion des processus rédactionnels (i.e., planifier les idées, formuler les phrases, réviser le texte en fonction du lecteur). Carvalho (2002) rapporte qu'après avoir été entraînés à la prise en compte consciente de leur destinataire, des élèves (du CM2 à la 4<sup>e</sup>) introduisaient plus de détails à l'intention de leur lecteur (plus de qualificatifs et de points de référence – reader supports) dans un texte procédural qui expliquait comment rejoindre une maison. De même, Sato et Matsushima (2006) ont montré que des étudiants de premier cycle, composant un texte procédural (comment dessiner une figure géométrique) dans une condition où la représentation du destinataire est renforcée, inséraient plus d'éléments de description, et, en conséquence, passaient plus de temps à planifier et écrire que les scripteurs produisant

dans une situation ordinaire (pour des résultats du même ordre : Holliday & McCutchen (2004) chez des élèves de CM2 et de 3<sup>e</sup> ; Lumbelli, Paoletti, & Frauzin (1999) chez des élèves de 6<sup>e</sup> ; Rubin & Looney (1990) et Traxler & Gernsbacher (1992, 1993) chez des étudiants de 1<sup>er</sup> cycle ; Schriver (1992) chez des étudiants avancés). Dans ce contexte, l'étude de Alamargot, Caporossi, Chesnet et Ros (2011) portait sur le rôle de la mémoire de travail dans l'habileté à composer un texte tout en respectant la visée communicative et en prenant en compte les besoins du lecteur. Les effets de la capacité sur la dynamique de la planification et le contenu du texte produit ont été analysés. La tâche consistait, pour des étudiants de Master, à rédiger un texte procédural (le montage d'une maquette de turbine) à partir d'une source documentaire composée des photographies des objets, des étapes de montage ainsi que du vocabulaire associé comme l'illustre la figure 4. La tâche durait environ un quart d'heure et les mouvements oculo-graphomoteurs ont été enregistrés avec *Eye and Pen*.

Les aspects techniques et méthodologiques sont décrits en détail dans l'article. Le propos ici est de montrer le type d'analyses qui peuvent être effectuées à partir des données recueillies par le logiciel *Eye and Pen*, lors d'une rédaction à partir de sources documentaires.

Après avoir séparé les pauses en déciles selon leur durée, un examen des durées moyennes des pauses pour chacun des déciles montre quatre catégories de pauses associées à un niveau de traitement différent. Les pauses des déciles 1 à 6 (i.e. 60% de pauses les plus courtes) ont des durées comprises entre 132 à 425 millisecondes et sont vraisemblablement associées à l'activité graphomotrice. Elles correspondent au lever de stylo pour l'écriture des accents, les changements de mots, les retours à la ligne, etc. Les pauses des deux déciles suivants (7 et 8) correspondent à des durées moyennes de 430 à 980 millisecondes. Elles seraient le fait du processus de Formulation, impliquant des traitements lexicaux et grammaticaux. Enfin, les 20% des pauses les plus longues (Déciles 9 et 10) durent en moyenne plus d'une seconde. Elles correspondraient à des traitements de planification. Ces deux derniers déciles sont toutefois très différents puisque le neuvième décile comporte des pauses de 1 à 2,9 secondes alors que le dernier décile comporte aussi des pauses bien plus longues, allant jusqu'à 40 secondes.

Pour cerner les traitements pragmatiques, inhérents à la Planification, les auteurs se sont concentrés sur les 10% de pauses les plus longues (décile 10 - D10) et ont analysé l'activité oculaire durant ces pauses, sur la source documentaire et sur le texte en cours. L'environnement de la tâche était composé d'une zone supérieure sur laquelle les différentes pièces sont représentées à gauche (zone A), alors que les étapes du montage sont représentées à droite (zone B), et une zone inférieure utilisée pour écrire le texte (zone C), comme l'illustre la figure 4.

L'activité oculaire pendant les pauses D10 a été caractérisée par le changement de zones d'intérêt. Six types de déplacement ont été distingués selon l'origine et la destination du mouvement oculaire dans les trois zones de l'environnement (AB,BA,AC,CA,BC et CB).

Les résultats montrent que les rédacteurs ayant une forte capacité de mémoire de travail effectuent des pauses d'écriture D10 plus longues, au cours desquelles ils fixent un nombre plus important d'informations variées dans la source (plus de transitions entre les images des objets, des étapes, et du lexique associé). Cette planification plus complexe est guidée par une analyse pragmatique des besoins du lecteur, se traduisant par l'insertion dans les textes d'un plus grand nombre d'aides (reader supports), facilitant le montage de la turbine. Ainsi, les ressources résiduelles de la mémoire de travail permettraient aux rédacteurs à forte capacité d'effectuer des traitements pragmatiques supplémentaires, en maintenant active une représentation du lecteur tout au long de la rédaction, parallèlement au maintien et traitement des autres représentations. Ces résultats montrent bien comment l'analyse conjointe des mouvements oculo-graphomoteurs permet d'approfondir, avec un grain d'analyse relativement fin, le fonctionnement du processus de Planification.

## Discussion & perspectives

Depuis la parution en 1980 du modèle *princeps* d'Hayes et Flower, les recherches en production de texte ont procédé à des analyses de plus en plus fines des processus impliqués et la question de la gestion des traitements est devenue centrale (Alamargot et Chanquoy, 2001 ; Chanquoy et Alamargot, 2002, pour une

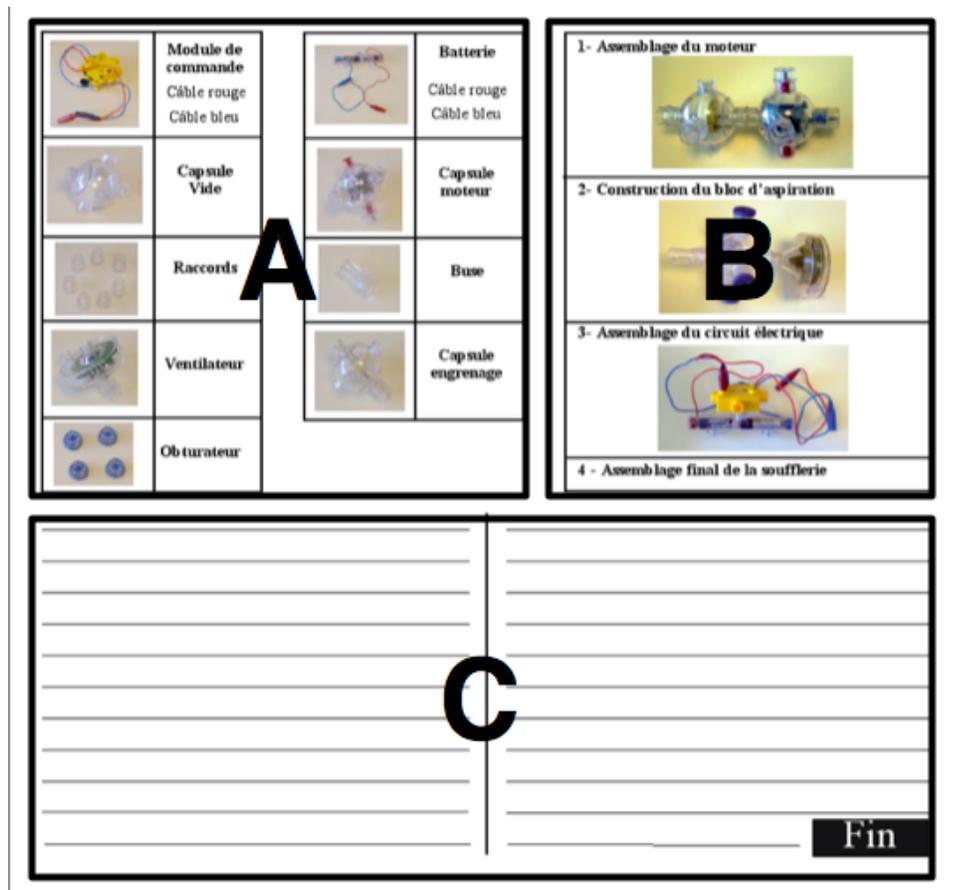


Figure 4 – L'environnement de travail avec ses trois zones d'intérêt

synthèse). Cet intérêt pour la dynamique des processus et des conditions de leur mise en œuvre a été soutenu par l'amélioration des outils et techniques d'investigations expérimentales, notamment des paradigmes de leur dynamique (cf. Alamargot, Jisa, & Lété, 2011). Ces paradigmes consistent à étudier l'engagement et/ou le coût des traitements rédactionnels à partir des caractéristiques temporelles du déroulement de l'activité. Les protocoles verbaux (Hayes & Flower, 1983), les méthodes de la double et triple tâche (temps de réaction à des signaux : Kellogg, 1987 ; Levy et Ransdell, 1996) et l'analyse des pauses et débits au cours de l'écriture (Chanquoy, Foulin, & Fayol, 1990 ; Matsushashi, 1981, 1982, 1987 ; Schilperoord, 2002) constituent les trois paradigmes d'analyse de la dynamique de la production écrite. Complémentaires, ces paradigmes cernent des aspects différents des traitements rédactionnels. L'avantage du paradigme des pauses et débits est de ne pas être contraignant pour le rédacteur. En n'imposant aucune interruption (contrairement aux principes de la double et triple tâche), ni activité mentale supplémentaire (contrairement aux protocoles verbaux), la méthode ne perturbe pas la mise en œuvre des traitements rédactionnels et permet une analyse continue de leur décours.

Finalement, il apparaît aujourd'hui, avec les premières études, que l'analyse conjointe des mouvements oculaires et graphomoteurs peut être particulièrement pertinente pour décrire plus finement les traitements en jeu dans la production écrite et leur dynamique. Sur le plan méthodologique, les paramètres oculo-graphomoteurs spécifiques de l'activité de production écrite, comme les poursuites et les micro-saccades sous-tendant les mouvements lents de l'œil, doivent être précisés. Après une première phase d'exploration recourant aux techniques de data-mining, et l'instauration d'une collaboration interdisciplinaire (psychologie, mathématique-optimisation – Caporossi, Chesnet, & Alamargot, 2004), la démarche expérimentale doit être privilégiée pour réduire les possibles, tester les indicateurs œil-main et étudier le fonctionnement et la gestion des processus de la production écrite.

## Références bibliographiques

- Alamargot, D., Caporossi, G., Chesnet, D., & Ros, C. (2011). What Makes a Skilled Writer ? Working Memory and Audience Awareness during Text Composition. *Learning and Individual Differences*. doi:10.106/j.lindif.2011.06.001.
- Alamargot, D., Caporossi, G., Chesnet, D. (2011). An Algorithm for Qualifying Eye Movements during Handwriting. *Les Cahiers du GERAD G-2011-41*, HEC Montréal.
- Alamargot, D., Chesnet, D., Dansac, C., & Ros, C. (2006). *Eye and Pen* : a new device to study reading during writing. *Behavior Research Methods*, 38(2), 287-299.
- Alamargot, D., Dansac, C., Chesnet, D., & Fayol, M. (2007). Parallel processing before and after pauses : A combined analysis of graphomotor and eye movements during procedural text production. In M. Torrance, L. v. Waes & D. Galbraith (Eds.), *Writing and Cognition : Research and Applications* (pp.13-29). Amsterdam : Elsevier.
- Alamargot, D., Flouret, L., Pontart, V., Morisset, P., Larocque, D., & Caporossi, G. (2012). Evolution de la procédure d'accord sujet-verbe en production écrite. Exemple d'une étude en « temps réel » menée chez des élèves de CE2, CM2, 4ème et Terminale. In FNAME (Ed.), *Inégalités scolaires et résilience : sociologie des inégalités scolaires - l'école, lieu de résilience - nouvelles pratiques d'écriture*. Editions de Retz.
- Alamargot, D., Leuwers, C., Caporossi, G., Pontart, V., O'Brien Ramirez, K., Pagan, A., Chesnet, D., & Fayol, M. (2011, in press). Eye Tracking Data during Written Recall : Clues to Subject-Verb Agreement Processing during Translation. In V.W. Berninger (Ed.), *Past, Present, and Future Contributions of Cognitive Writing Research to Cognitive Psychology*. New York : Taylor & Francis/Routledge, Psychology Press.
- Berkenkotter, C. (1981). Understanding a writer's awareness of audience. *College Composition and Communication*, 32(4), 388-399.
- Caporossi, G., Alamargot, D., & Chesnet, D. (2004). Using the computer to study the dynamics of handwriting processes. *Lecture Notes in Computer Science*, 3245, 242-254.
- Carvalho, J.B. (2002). Developing audience awareness in writing. *Journal of Research in Reading*, 25(3), 271-282.
- Chanquoy, L., Foulin, J.N., & Fayol, M. (1990). Temporal management of short text writing by children and adults. *Cahiers de Psychologie Cognitive*, 10 (5), 513-538.
- Chanquoy, L. & Negro, I. (1996). Subject-verb agreement errors in written productions : A study of French children and adults. *Journal of Psycholinguistic Research*, 25(5), 553-570.
- Chartrel, E., & Vinter, A. (2006). Rôle des informations visuelles dans la production de lettres cursives chez l'enfant et l'adulte. *L'Année Psychologique*, 106(1), 43-64.
- Chesnet, D., & Alamargot, D. (2005). Analyse en temps réel des activités oculaires et grapho-motrices du scripteur. Intérêt du dispositif '*Eye and Pen*'. *L'Année Psychologique*. 105(3), 477-520.
- Christensen, C.A. (2004). Relationship between orthographic-motor integration and computer use for the production of creative and well structured written text. *British Journal of Educational Psychology*, 74(4), 551-565.
- Connelly, V., Gee, D., & Walsh, E. (2007). A comparison of keyboarded and handwritten compositions and the relationship with transcription speed. *British Journal of Educational Psychology*. 77(2), 479-492.
- Dearborn, W. (1906). *The psychology of reading*. New-York : Science Press.
- Fayol, M. (1997). *Des idées au texte*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Fayol, M. & Got, C. (1991). Automatisation et contrôle dans la production écrite. *L'Année Psychologique*, 91, 187-205.
- Fayol, M, Hupet, M., & Largy, P. (1999). The acquisition of subject-verb agreement in written French : From novices to experts' errors. *Reading and Writing*, 11, 153-174.
- Fayol, M., Largy, P., & Lemaire, P. (1994). When cognitive overload enhances subject-verb agreement errors. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 47A, 437-464.
- Foulin, J.N. (1995). Pauses et débits : les indicateurs temporels de la production écrite. *L'Année Psychologique*, 95, 483-504.
- Foulin, J.N. (1998). To what extent does pause location predict pause duration in adults' and children's writing? *Cahiers de Psychologie Cognitive*, 17, 601-620.
- Gowen, E., & Miall, R.C. (2006). Eye-hand interactions in tracing and drawing tasks. *Human Movement Science*, 25, 568-585.
- Gregg, N., Sigalas, S., A., Hoy, C., Wisenbaker, J., & McKinley, C. (1996). Sense of audience and the adult writer : A study across competence levels. *Reading and Writing*, 8(1), 121-137.
- Holliday, D.R. & McCutchen, D. (2004). Audience perspective in young writers composing and revising. *Reading as the reader*. In L. Allal, L. Chanquoy & P. Largy (Vol. Eds.), *Studies in Writing : Vol. 13. Revision : Cognitive and instructional processes* (pp. 87-101). Dordrecht : Kluwer Academic Publishers

- Hupet, M., Fayol, M., & Schelstraete, M-A. (1998). Effects of semantic variables on the subject-verb agreement processes in writing. *British Journal of Psychology*, 89, 59-75.
- Hupet, M., Schelstraete, M-A, Demaeght, N., & Fayol, M. (1996). Les erreurs d'accord sujet-verbe en production écrite. *L'Année Psychologique*, 96, 587-610.
- 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(1), 44-55.
- Hyönä, J., Radach, R., & Deubel, H. (Eds.) (2003). *The mind's eye : Cognitive and applied aspects of eye movement research*. Amsterdam : Elsevier Science.
- Inhoff, A.W., & Radach, R. (1998). Definition and computation of oculomotor measures in the study of cognitive processes, In G. Underwood (Ed.), *Eye guidance in reading and scene perception*. North Holland, Elsevier Sciences Publishers.
- Johansson, R., Wengelin, Å., Johansson, V., & Holmqvist, K. (2010). Gazing at the keyboard or the monitor : Influences on text production. *Reading and Writing. An interdisciplinary journal*, 23 (7), 835-851
- Juhász, B.J., Pollatsek, A., Hyönä, J., Drieghe, D., & Rayner, K. (2009). Parafoveal processing within and between words. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 62, 1356-1376.
- Kaakinen, J.K., & Hyönä, J. (2010). Task effects on eye movements during reading. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory & Cognition*, 36, 1561-1566.
- Kaakinen, J.K., Hyönä, J., & Viljanen, M. (2011). Influence of a psychological perspective on scene viewing and memory for scenes. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 64, 1372-1387.
- Katsanis, J., Iacono, W.G., & Harris, M. (1998). Development of oculomotor functioning in preadolescence, adolescence, and adulthood. *Psychophysiology*, 35(1), 64-72.
- Kennedy, A., Radach, R., Heller, D., & Pynte, J. (Eds.) (2000). *Reading as a perceptual process*. Amsterdam : North Holland, Elsevier Sciences Publishers.
- Kirsch, G. (1991). Writing up and down the social ladder : A study of experienced writers composing for contrasting audiences. *Research in the Teaching of English*, 25, 33-53.
- Lambert, E., Alamargot, D., Larocque, D., & Caporossi, G. (2011). Dynamics of spelling process during a copy task. Effect of frequency and regularity. *Canadian Journal of Experimental Psychology*. 65(3), 141-150.
- Largy, P., Cousin, M.P., & Dédéyan, A. (2005). To produce and revise the inflexional morphology of number : on the access to expertise. *Psychologie Française*, 50, 339-350.
- Largy, P. & Fayol, M. (2001). Oral cues improve subject-verb agreement in written French. *International Journal of Psychology*, 36, 121-132
- Largy, P., Fayol, M., & Lemaire, P. (1996). The homophone effect in written French : The case of verb-noun inflection errors. *Language and Cognitive Processes*, 11, 217-255.
- Le Bigot, N., Passerault, J.M. & Olive, T. (2010). Le souvenir de la localisation des mots d'un texte. *L'Année Psychologique*. 110 (2), 321-346
- Longcamp, M., Boucard, C., Gilhodes, J.C., Anton, J.L., Roth, M., Nazarian, B., and Velay, J.L. (2008). Learning through Hand- or Typewriting Influences Visual Recognition of New Graphic Shapes : Behavioral and Functional Imaging Evidence. *Journal of Cognitive Neuroscience* 20(5), 802-815.
- Longcamp, M., Boucard, C., Gilhodes, J.C. Velay, J.L. (2006). Remembering the orientation of newly learned characters depends on the associated writing knowledge : A comparison between handwriting and typing. *Human Movement Science*, 25, 646-656
- Longcamp, M., Zerbato-Poudou, M. T., & Velay, J. L. (2005). Writing practice influences the recognition of letters orientation in preschool children. *Acta Psychologica*, 119, 67-79.
- Lumbelli, L., Paoletti, G., & Frauzin, T. (1999). Improving the ability to detect comprehension problems : From revising to writing. *Learning and Instruction*, 9, 143-166.
- Miall, R.C., Imamizu, H. & Miyauchi, S. (2000). Activation of the cerebellum in coordinated eye and hand tracking movements : An fMRI study. *Experimental Brain Research*, 135, 22-33.
- Midgette, E., Haria, P., & MacArthur, C. (2008). The effects of content and audience awareness goals for revision on the persuasive essays of fifth- and eighth-grade students. *Reading and Writing*, 21(1-2), 131-151.
- O'Reagan, K. (1975). L'utilisation en temps réel d'un petit ordinateur pour l'étude des mouvements oculaires pendant la lecture. *Informatique et Sciences Humaines*, 22, 7-12.
- Olive, T., & Kellogg, R.T. (2002). Concurrent activation of high- and low-level production processes in written production. *Memory and Cognition*, 30(4), 594-600.

- Olive, T., & Piolat, A. (2002). Suppressing visual feedback in written composition : Effects on processing demands and coordination of the writing processes. *International Journal of Psychology*, 37(4), 209–218.
- Rayner, K. (1995). Eye movements and cognitive processes in reading, visual search, and scene perception. *Studies in Visual Information Processing*, 6, 3–22.
- Rayner, K. (1998). Eye movements in reading and information processing : 20 years of research. *Psychological Bulletin*, 124, 372–422.
- Reichle, E.D., Rayner, K., & Pollatsek, A. (2003). The E-Z reader model of eye-movement control in reading : comparisons to other models. *Behavior and Brain sciences*, 26, 445–526.
- Rogers, J., & Case-Smith, J. (2002). Relationships between handwriting and keyboarding performance of sixth-grade students. *American Journal of Occupational Therapy*, 56, 34–39.
- Rubin, D.L., & O’Looney, J. (1990). Facilitation of audience awareness : Revision processes of basic writers. In G. Kirsch & D.H. Roen (Eds.), *A sense of audience in written communication* (pp. 280–292). Newbury Park, CA : Sage Publications.
- Salvucci, D.D., & Anderson, J.R. (2001). Automated eye-movement protocol analysis. *Human Computer Interaction*, 16(1), 39–86.
- Sato, K., & Matsushima, K. (2006). Effect of audience awareness on procedural text writing. *Psychological Reports*, 99, 51–73.
- Schriver, K.A. (1992) Teaching writers to anticipate readers’ needs : What can document designers learn from usability testing? *Utrecht Studies in Language and Communication*, 1, 141–157.
- Traxler, M.J., & Gernsbacher, M.A. (1992). Improving written communication through minimal feedback. *Language and Cognitive Processes*, 7(1), 1–22.
- Traxler, M.J. & Gernsbacher, M.A. (1993). Improving written communication through perspective taking. *Language and Cognitive Processes*, 8(3), 311–334.
- Underwood, G.W. (Ed.) (1999). *Eye Guidance While Reading and While Watching Dynamic Scenes*. Amsterdam : Elsevier Sciences Publishers.
- van Galen, G.P. (1980). Handwriting and drawing : A two stage model of complex behavior. In G.E. Stelmach & J. Requin (Eds.), *Tutorials in motor behavior* (pp. 567–578). Amsterdam : North Holland.
- van Galen, G.P. (1991). Handwriting : A developmental perspective. In A.F. Kalverboer, R.H. Geuze & B. Hopkins (Eds.), *Motor development in early and later childhood : Longitudinal approaches* (pp. 143–172). Cambridge : Cambridge University Press.
- Wong, A.T.Y. (2005). Writers’ mental representations of the intended audience and of the rhetorical purpose for writing and the strategies that they employed when they composed. *System*, 33(1), 29–47.