

Electronic pen pads: Three easy pieces?

Blocs-notes électroniques: trois variations sur un thème connu

Réjean Plamondon, ing. Ph.D., Directeur général, Professeur titulaire
École Polytechnique de Montréal, C.P. 6079, Succursale Centre-Ville
Montréal QC Canada H3C 3A7
email: rejean.plamondon@polymtl.ca

Résumé

Cette conférence fait un survol de trois projets de recherche actuellement en cours de développement au laboratoire *Scribens* de l'École Polytechnique de Montréal, exploitant la technologie des blocs-notes électroniques. Le premier projet vise à concevoir un système dédié à la saisie et la reconnaissance de documents braille; le second, un système pour le traitement de données comptables et le troisième, un outil interactif pour apprendre aux enfants à écrire. Chacun de ces systèmes repose sur le traitement automatique de l'écriture manuscrite et des commandes gestuelles. Pour chacun des projets, nous présentons, en premier lieu, une brève description de la problématique et des objectifs initiaux, suite à laquelle nous exposons un rapport de l'état des travaux et suggérons quelques perspectives d'avenir.

Abstract

This conference describes three research projects dealing with electronic pen-pads, that are under development at Laboratoire *Scribens* of the École Polytechnique de Montréal. The first project aims at designing for Braille document acquisition and recognition system; the second accounting data processing system and the third, an interactive tool that helps children learning handwriting. Each of these three systems is partly based on the automatic processing of handwriting and gestures. For each project, problems and objectives are first described, followed by a status report on each project and some suggestions for future developments.

1 Introduction

Les concepts fondamentaux des blocs-notes électroniques ont été proposés dès la fin des années '60 par: un micro-ordinateur ayant pour interface principale une tablette à numériser transparente, superposée à un

afficheur à cristaux liquides. L'utilisateur d'un tel système peut donc écrire sur la tablette à l'aide d'un crayon, comme sur un bloc-notes, tandis que le micro-ordinateur traite les coordonnées de la pointe du crayon pour générer sur l'écran une encre électronique reproduisant ainsi fidèlement le tracé manuscrit. L'intérêt de cette encre réside dans la valeur ajoutée qu'un tel ordinateur lui confère: la grande flexibilité associée à sa mémorisation et sa manipulation sous forme binaire. Il est en effet possible de modifier la forme et le contenu d'un texte manuscrit à partir de simples commandes gestuelles, l'objectif ultime étant de reconnaître directement le message écrit pour le transmettre ou l'afficher sous un format typographique.

La matérialisation de ces concepts a connu un essor fulgurant à la fin des années '80 lorsque sont apparus différents modèles commerciaux de blocs-notes. La mise en marché de ces premiers prototypes a immédiatement créé un engouement excessif où chaque manufacturier y allait de ses promesses futuristes. Derrière tout ceci, le même fil conducteur: une nouvelle génération d'ordinateurs était née, on en retrouverait de multiples applications dans de nombreux domaines.

Les premiers «frissons» passés, les faillites commerciales vinrent vite rappeler à ceux qui avaient trop promis qu'ils avaient totalement sous-estimé les difficultés rattachées à la reconnaissance et au traitement proprement dit de l'encre électronique. Bien que les premiers logiciels développés en ce sens aient constitué d'excellentes preuves de faisabilité, la plupart de ces algorithmes s'avéraient très limités dans un contexte d'utilisations générale et multi-usager.

Pendant les années '90, les recherches se sont poursuivies au ralenti dans différents domaines rattachés au traitement de l'écriture [1,2] pendant que des blocs-notes ciblant des marchés verticaux plus spécifiques, ont fait peu à peu leur apparition [3]. Diverses versions d'agendas électroniques entre autres

ont connu de grands succès commerciaux (exemple: le Palm Pilot J-3COM).

De nombreuses percées technologiques seront nécessaires, tant du point de vue matériel que logiciel, avant que des produits ergonomiques visant de vastes marchés horizontaux ne réapparaissent sur le marché [2]. En définitive, la solution ultime reposera sur la compréhension des langues écrites et des commandes gestuelles. Entre-temps, plusieurs prototypes de blocs-notes à utilisation spécifique sont mis au point dans les laboratoires de recherche un peu partout dans le monde. Cet article fait un survol de trois projets actuellement en cours de développement au laboratoire *Scribens* de l'École Polytechnique de Montréal: BRAILLE, un bloc-notes électronique pour la reconnaissance du braille; COMPTAPEN, un bloc-notes pour le traitement de données comptables et SCRIPTÔT, un bloc-notes pour apprendre aux enfants à écrire. Pour chacun de ces projets, nous présentons en premier lieu, une brève description de la problématique spécifique suivie des principaux concepts et objectifs associés à chacun des systèmes. Nous faisons ensuite rapport de l'état des travaux en faisant ressortir les principales difficultés rencontrées et les solutions proposées pour réaliser chacun de ces projets¹ dans le temps et les budgets prévus. Finalement, nous concluons sur quelques perspectives d'avenir après avoir tiré quelques leçons de la gestion de ces trois projets.

2 DESCRIPTION DES PROJETS

A. Projet Braille

A.1 Problématique et objectifs

Les associations de non-voyants, dans plusieurs pays, et en particulier au Canada, ont produit des livres en Braille, soit manuellement, soit avec des machines spécialement adaptées. Certaines de ces collections regroupées dans des bibliothèques publiques ont plus d'un siècle d'existence. Actuellement, en dépit de la présence d'ordinateurs qui permettent de produire du Braille aisément à partir d'un fichier numérisé, la production manuelle de documents en Braille se poursuit dans de nombreux pays, par exemple en France, parce qu'elle repose sur des réseaux de volontaires qui ne disposent pas forcément du matériel informatique requis ou encore parce que le fichier numérisé n'est simplement pas disponible. Plusieurs de ces collections s'usent avec les années, ce qui empêche les non-voyants d'avoir accès à des volumes anciens.

¹ Une démonstration des plus récents prototypes sera effectuée lors de la conférence.

Dans ce contexte, l'objectif technique général du projet Braille est de concevoir et de mettre au point un système informatique dédié à la saisie et la reconnaissance de documents braille, le tout interfacé à un bloc-notes électronique intelligent permettant l'édition et la correction par un voyant du document ainsi capté. Pour atteindre ce but, quatre objectifs spécifiques sont visés :

- a) développer un logiciel de saisie et de reconnaissance des textes en Braille,
- b) développer un logiciel d'édition à commandes gestuelles,
- c) développer un logiciel de reconnaissance dynamique de caractères manuscrits,
- d) intégrer ces logiciels dans un bloc-notes électronique intelligent.

Le système que nous construisons est donc un ordinateur de type bloc-notes muni de deux dispositifs d'entrée de données : le lecteur optique ("*scanner*") et le crayon correcteur. L'utilisateur utilisera le lecteur optique pour effectuer la saisie de textes en Braille. Un logiciel reconnaîtra la très grande majorité des caractères ainsi captés alors que le crayon correcteur permettra à l'utilisateur de rectifier dynamiquement les erreurs de lecture, d'ajouter au besoin des informations supplémentaires et également de gérer l'ensemble des procédures de mise en format à partir de commandes gestuelles.

A.2 État des travaux

La première phase de ce projet s'est terminée officiellement le 13 novembre 1998 lors d'une réunion synthèse avec nos différents partenaires, au cours de laquelle nous avons fait la démonstration du système mis au point. Chacun des quatre objectifs mentionnés plus haut a été atteint [4].

Nous avons développé un logiciel de saisie et de reconnaissance des textes en braille. Ce logiciel permet la numérisation d'une page braille à partir d'un scanner commercial. De là, un traitement automatique exploitant les zones claires et ombragées associées aux points braille produit un texte ASCII braille. Pour ce faire, différents modules de prétraitement ont été développés pour détecter les points, les lignes de points, la localisation et le codage des caractères braille. L'approche que nous avons suivie est plutôt classique et repose principalement sur les histogrammes de luminance [5]. Nos évaluations de performance sur plus de 19,528 caractères varie de 0.37% d'erreur dans le cas des pages de bonne qualité (tests sur 1,634 caractères), pour passer aux alentours

de 10% d'erreur dans le cas des pages de qualité moyenne (*tests sur 12,395 caractères*) et atteindre un taux de plus de 30% d'erreur dans les cas extrêmes de pages de très mauvaise qualité (*tests sur 5,499 caractères*). Dans ce dernier cas, le problème reste ouvert et de nouvelles pistes de solution ont été proposées [4].

Pour réaliser l'éditeur de commandes gestuelles, nous avons utilisé une approche basée sur l'emploi d'un réseau de neurones de type ARTMAP. Pour ce faire, nous avons développé un nouveau type de codage de tracé, soit le codage isométrique [6]. Après une revue de la littérature sur les commandes gestuelles, nous avons choisi un ensemble de gestes de base, qui constitue l'ensemble par défaut utilisé par le système. Grâce à sa capacité d'apprentissage rapide, le réseau ARTMAP permet aussi à l'utilisateur de définir ses propres commandes au besoin et d'enrichir l'ensemble des commandes disponibles. L'évaluation du prototype par un groupe de 14 personnes a permis de constater que 12 des 14 commandes étaient parfaitement reconnues alors que les 2 autres étaient reconnues à soit 95,2 et 97,6 % (*tests sur 588 formes*).

Pour reconnaître les caractères manuscrits, nous avons utilisé une méthode symbolique basée sur une approche originale de segmentation des tracés à partir de la courbure [7]. La reconnaissance des caractères repose par contre, sur une approche classique de programmation dynamique [8]. Les tests de l'algorithme à partir d'une banque de caractères donne un taux global de reconnaissance de 91% (*tests sur 1,860 caractères*).

Nous avons aussi exploré la possibilité d'intégrer un module de correction linguistique en ligne au logiciel éditeur/reconnaisseur. Après une analyse détaillée de la problématique lexicale, syntaxique et contextuelle, il nous est vite apparu que ce problème débordait largement du cadre de ce projet. Nous avons donc décidé de simplifier le problème en intégrant un correcteur lexical basé sur l'éditeur du logiciel MS-Word de Microsoft et sur l'emploi optimal d'un dictionnaire de 138,257 mots.

L'intégration des différents modules s'est faite dans l'environnement MS-Word, la page d'édition gestuelle servant à afficher le texte et les tracés de gestes ou des caractères qui doivent être reconnus. Ceci nous a permis de profiter de toutes les fonctions de traitement de texte supportées par MS-Word (correcteur d'orthographe, analyseur grammatical, utilisation du format html pour rendre les documents lisibles par un fureteur et les diffuser pour publication sur un site web). Il faut de plus, noter que l'intégration a dû tenir compte du fait que le module de

reconnaissance du braille a été développé sous l'environnement Visual C++; l'éditeur gestuel, sous l'environnement Visual Basic 5.0; le module de reconnaissance de caractères, sous l'environnement Visual C++, intégré dans le module principal comme objet de type OCX. Le système utilise des fonctions API nécessaires aux échanges de données entre les modules. Les différents tests que nous avons effectués ont permis de confirmer la fonctionnalité du système global, à partir d'un bloc-notes électronique de type Fujitsu Stylistic 1200.

A.3 Suite #1

En résumé, tous les objectifs du projet ont été atteints. Après avoir fait une preuve de concept, l'équipe s'appête à donner suite à ce projet en concevant un système plus performant, qui exploitera les connaissances acquises pour apporter des solutions originales aux difficultés qu'il reste à résoudre. Une fois fonctionnel, ce nouveau prototype offrira les possibilités suivantes :

- 1) les exemplaires uniques en Braille pourront être publiés en autant d'exemplaires qu'on le désire.
- 2) les documents produits, parce que soumis à une procédure de vérification humaine, pourront en fait améliorer la qualité du Braille d'origine. En d'autres mots, la copie sera généralement de qualité supérieure à l'original.
- 3) les exemplaires en Braille, une fois numérisés, pourront se convertir en fichiers audibles (par synthèse vocale). Bien entendu, ils permettront également de produire des textes imprimables, lisibles à l'œil.
- 4) le stockage sous format numérisé permettra de réduire les problèmes reliés à l'entreposage, entraînant ainsi des économies de fonctionnement pour les bibliothèques.
- 5) la numérisation du Braille permettra aux bibliothèques de documents Braille d'échanger aisément leurs collections.
- 6) les documents en Braille vieillissant assez vite à l'usage, disposer de versions numérisées permettra d'envisager une procédure de jouvence perpétuelle pour ces documents.

Finalement, comme le Braille touche plus de 70 langues, les procédures mises en place seront susceptibles d'intéresser la très grande majorité des pays du monde. Elles permettront en particulier de disséminer, par le truchement des associations d'aveugles, des produits en Braille dans les pays du Sud.

B. Projet Comptapen

B.1 Problématique et objectifs

Une des tâches importantes du travail des experts-comptables est la saisie directe de l'information pertinente contenue dans un système de comptabilité. En effet, le rôle premier d'un expert-comptable est de vérifier et valider les données comptables d'un client. De nos jours, différents logiciels sont disponibles pour l'assister dans son travail. Par exemple, le logiciel DREAM, un logiciel de gestion de données comptables développé par la compagnie Comptapac Ltée, partenaire direct de ce projet, est un produit utilisé par la majorité des firmes comptables québécoises. Ce logiciel permet, entre autres, la préparation des feuilles de travail, les analyses de comptes, la rédaction des états financiers tout en respectant le format de présentation que chaque bureau d'expert-comptable veut bien se donner.

Une des principales difficultés associées à l'emploi du logiciel DREAM est l'entrée de données. En effet, pour de nombreux clients, les données originales proviennent du grand livre de leur compagnie. Le vérificateur doit donc procéder à la saisie des données pertinentes du grand livre à l'aide d'un clavier. Cette tâche pourrait être grandement simplifiée en sélectionnant et captant les données pertinentes en une seule opération, quitte à effectuer les corrections si nécessaire, une fois que les données sont disponibles sous un format adéquat. Cette simple opération ferait économiser temps et argent aux vérificateurs puisqu'il n'est pas exceptionnel que l'on enregistre plus de 1000 transactions comportant la date, le numéro de compte, la description et le montant, lors d'une vérification typique.

À moyen terme, il serait même très souhaitable de pouvoir recueillir l'information écrite à la main en plus de celle des différents formats d'impression du rapport du grand livre. Les experts-comptables disposeraient alors d'un outil complet et efficace.

Dans ce contexte, l'objectif du projet Comptapen est de concevoir et développer un bloc-notes électronique dédié au traitement interactif de données comptables. Le système sera muni d'un crayon lecteur optique permettant la saisie d'informations typographiées dans des rapports de comptabilité, et d'un crayon correcteur permettant l'édition et la correction des données captées. Le tout sera intégré à un bloc-notes électronique intelligent sur lequel fonctionnera le logiciel *DREAM*. Plus spécifiquement, le projet vise quatre objectifs:

- a) améliorer les performances d'un crayon lecteur optique pouvant reconnaître les caractères imprimés,
- b) développer un logiciel de reconnaissance de caractères manuscrits et de commandes d'édition gestuelles, pour un crayon correcteur,
- c) étudier la variabilité de l'écriture et des gestes simples pour mettre au point des mécanismes d'apprentissage et d'adaptation multiscripteurs,
- d) intégrer le crayon lecteur optique et le crayon correcteur à un bloc-notes électronique exploitant le logiciel de gestion comptable *DREAM*.

B.2 État des travaux

Le projet Comptapen est à mi-parcours. Un premier prototype fonctionnel sera terminé sous peu. Au cours des 18 premiers mois de ce projet, nous avons évalué et testé les performances de différents crayons lecteur optique et retenu le crayon DATAPEN (fabriqué par la compagnie PRIMAX) comme candidat le plus performant dans le marché des numérisateurs portatifs.

Nos tests ont toutefois révélé que ce produit était inadéquat pour notre projet étant donné sa très grande sensibilité à la vitesse de balayage de la main de l'utilisateur. Dans un premier temps, nous avons tenté de corriger ce défaut en jumelant le crayon lecteur à une tablette à numériser de façon à capter les coordonnées XY décrivant le déplacement du crayon lecteur. Cette approche s'est vite avérée lourde et inefficace du moins dans le contexte du développement d'un premier prototype.

Après avoir présenté nos résultats [9] à notre partenaire industriel, nous avons décidé conjointement de modifier ce premier objectif et d'étudier d'autres alternatives de matériel d'acquisition d'images. Nous avons donc effectué une étude du marché des caméras numériques d'une part et d'autre part, une étude du marché des numérisateurs miniatures d'images. Par la même occasion nous avons fait une étude du marché des logiciels de reconnaissance de caractères actuellement disponibles et remis à jour notre étude du marché des blocs-notes électroniques et de leur système d'exploitation [10].

Suite à toutes ces remises en question, nous avons convenu de construire un premier prototype utilisant un numérisateur miniature [Visioneer Paperport Strobe, de Visioneer] et un bloc-notes électronique couleur [Fujitsu, modèle Stylistic 1200]. Côté logiciels, nous avons choisi comme plates-formes initiales

Windows 95 et le logiciel de reconnaissance Presto! OCR de NewSoft Inc. Nous sommes en train d'évaluer les performances, côté reconnaissance de caractères, de cette combinaison d'équipement de façon à définir les actions à entreprendre pour améliorer et adapter ces produits à nos besoins spécifiques.

Concernant le deuxième objectif, nous nous sommes attaqués à deux problèmes principaux: la représentation d'un geste ou d'un caractère et leur reconnaissance automatique, en exploitant une théorie cinématique des mouvements humains [11,12,13]. Dans un premier temps, nous avons généralisé la théorie pour permettre d'étudier les mouvements à deux dimensions tels l'écriture manuscrite [14]. Nous avons ensuite étudié les possibilités de segmenter l'écriture manuscrite par l'analyse du signal de courbure $C(t)$ [7] permettant ainsi de définir un tracé par une suite de segments délimités principalement par des maximums de courbure.

Dans un second temps, nous avons proposé et développé une nouvelle approche de reconnaissance basée sur le modèle de Markov caché: le DHMM (*Dual Hidden Markov Model*) [15]. Il s'agit d'une généralisation fondamentale des modèles de Markov exploitant la capacité d'anticipation psychophysique des êtres humains dans les tâches apprises telles l'écriture manuscrite. En parallèle à ces travaux, nous avons aussi intégré les algorithmes de reconnaissance de gestes et de caractères développés dans le cadre du projet Braille pour évaluer les performances de ces deux modules dans le contexte spécifique du projet Comptapen.

En ce qui a trait au troisième objectif de ce projet, nous avons utilisé notre modèle de génération d'écriture [16] pour étudier les différentes formes de variabilité pouvant apparaître dans un tracé. Nous avons tenté de dissocier les effets de représentation neuronale à plus haut niveau des fluctuations neuromusculaires reliées plutôt à l'exécution d'un plan d'action. Pour pousser plus loin cette approche innovatrice, il faudra automatiser de façon robuste, une méthode d'analyse de mouvements [17] mise au point dans le cadre d'un autre projet de recherche du laboratoire *Scribens*.

Nos simulations ont clairement démontré qu'à l'aide de ce modèle, il est possible de reproduire, avec un très haut niveau de fiabilité, un mot écrit par un sujet humain et en extraire toutes les composantes psychophysiques décrites par l'ensemble des paramètres décrivant chaque trait. Nous avons démontré à l'aide de cette approche qu'il était possible de décrire les différentes formes de variations et de fluctuations observées dans la génération d'un mot,

dissociant ainsi les effets commandes cérébrales des fluctuations neuromusculaires.

À moyen terme, nous allons utiliser les connaissances dérivées de cette méthodologie originale pour développer de meilleurs algorithmes de reconnaissance de gestes et de caractères. Pour ce faire, nous faisons face à un obstacle important, celui de l'extraction automatique robuste des paramètres associés à chaque trait. Nous travaillons depuis quelques années à résoudre ce problème dans le cadre d'autres travaux et nous avons l'intention d'exploiter en profondeur cette méthode.

Finalement, côté intégration des différentes composantes, nous avons utilisé une approche de type "prototypage rapide", notre but étant d'avoir un premier prototype fonctionnel d'ici la fin de l'année 1998. Pour ce faire, nous avons effectué différentes tâches de développement.

1. Intégration d'un logiciel de reconnaissance optique de caractères au bloc-notes couplé au numériseur miniature. Nous étudions dans ce contexte différents logiciels commerciaux tant au niveau de leur performance que de leur flexibilité réelle d'intégration et d'expansion.
2. Intégration des modules de reconnaissance en ligne de caractères manuscrits et de gestes (certains de ces modules ont été développés dans le cadre d'autres projets [6, 8] et intégration d'un dictionnaire.
3. Développement de modules de type gestionnaire de souris pour permettre à l'utilisateur d'effectuer certaines commandes de gestion de pages et d'affichage à l'aide d'un crayon correcteur pour la mise en page automatique des documents comptables reconnus.
4. Création d'un module permettant l'insertion de nouveaux caractères dans un document comptable. L'objectif ici est d'obtenir des données dans un format compatible avec le logiciel de traitement de données comptables (DREAM) commercialisé par notre partenaire industriel.

B.3 Suite #2

Le bloc-notes que nous allons réaliser permettra de combler un besoin important dans le travail de l'expert-comptable : l'emploi du bloc-notes simplifiera la saisie directe des informations pertinentes contenues dans un document financier et augmentera la productivité de l'expert-comptable et de son personnel en réduisant le temps requis à la préparation d'un dossier de vérification. En faisant disparaître presque toute utilisation du clavier, on minimisera le coût et les

risques d'erreurs associées à ce mode d'entrées de données. En disposant d'une version électronique d'un document comptable, sa vérification en sera facilitée.

Le succès de ce projet repose entre autres sur le fait que nous l'avons restreint à une application et à une clientèle spécifique de sorte que les fonctions principales du système seront limitées et adaptables aux besoins de l'utilisateur sans que celui-ci se sente brimé. Il est tout à fait naturel pour un vérificateur de corriger et d'annoter des documents de façon simple et abrégée. Le vocabulaire de base et les règles syntaxiques sont limités, les règles comptables permettent de résoudre des ambiguïtés, de sorte que nous croyons fermement pouvoir réaliser un prototype fonctionnel et rentable. Un des grands avantages de ce projet, de par sa nature, est qu'il permette de séparer les problèmes en fonction des deux dispositifs d'entrée de données et que chacun d'eux sera utilisé dans un mode de fonctionnement où plusieurs problèmes de base ont déjà trouvé des solutions partielles, mais intéressantes.

C. Projet Scriptôt

C.1 Problématique et objectifs

Les méthodes habituelles d'enseignement de l'écriture manuscrite consistent essentiellement à faire copier ou calquer des modèles de lettres par les élèves. L'expérience démontre qu'après quelques répétitions, certaines informations sont perdues et que la qualité des lettres diminue. Des principes bien établis concernant l'acquisition de l'habileté à écrire démontrent certaines lacunes dans ces deux méthodes. Un de ces principes expose que l'habileté à écrire sera acquise si l'élève est précis et constant dans son mouvement, et s'il prend des décisions correctives au moment du tracé [19]. Copier un modèle favorise une prise de décision sur la forme et la séquence d'écriture des lettres, mais n'augmente pas nécessairement la précision. À l'opposé, calquer un modèle augmente la précision mais ne force pas l'enfant à être attentif à ses mouvements d'écriture. Il y a donc un compromis à faire entre copier et calquer des modèles de lettres.

La vitesse d'apprentissage d'un individu dépend de sa facilité à interpréter correctement le retour d'information qu'il reçoit. Il y a plusieurs types de retours [20], mais l'élève qui apprend à écrire utilise surtout le retour visuel. Par simple comparaison, il tente de corriger son tracé pour le rendre conforme au modèle. L'acquisition de l'habileté sera complète si le processus de correction devient un processus automatique inconscient [19]. Le transfert du contrôle de l'écriture du processus conscient (retour visuel) au processus inconscient (retour musculaire) est de

première importance. Il ne peut être achevé que par la pratique. L'enseignante est de peu d'utilité à ce stade.

La vitesse d'apprentissage de l'écriture varie donc d'un individu à l'autre; elle n'est pas uniforme, non seulement à cause des différences individuelles, mais aussi parce que l'enseignement n'est pas distribué uniformément. Si on considère le fait qu'un élève qui débute l'apprentissage de l'écriture a besoin de beaucoup de retours, il y a un manque que le professeur n'a pas le temps de combler.

Dans ce contexte, l'objectif général de ce projet est de concevoir, réaliser et valider un prototype fonctionnel interactif d'aide à l'apprentissage de l'écriture manuscrite, dédié aux élèves du primaire. Ce système, utilisant la technologie des blocs-notes électroniques, exploitera la flexibilité offerte par l'encre électronique pour afficher l'image d'un tracé en respectant la cinématique complète de ce tracé, pour offrir un retour d'information constant approprié aux besoins des élèves facilitant ainsi leur apprentissage.

Pour atteindre cet objectif, cinq sous-projets doivent être réalisés :

1. concevoir un logiciel de génération de leçons d'écriture (cursive, moulée ou scripte) exploitant un modèle psychophysique de génération des mouvements simples.
2. concevoir une interface dynamique ergonomique et flexible permettant à une enseignante, de structurer et de graduer l'apprentissage efficace des élèves.
3. concevoir une interface dynamique ergonomique permettant de créer un environnement d'apprentissage moderne et stimulant.
4. concevoir une métrique, basée sur la représentation cinématique des mouvements, permettant de suivre et d'évaluer le degré d'apprentissage de l'écriture.
5. intégrer ces différents logiciels dans un ordinateur portable de type bloc-notes électronique et évaluer les performances du prototype.

L'élève utilisant ce prototype écrira donc directement sur l'écran de l'ordinateur qui générera l'encre électronique à la pointe de son crayon, simulant ainsi l'interaction crayon/papier. Différentes leçons d'écriture par copie, par traçage, par suivi de cibles, etc., apparaîtront à l'écran, ces leçons étant aisément programmées par l'enseignante. L'outil permettra à l'enseignante d'évaluer en classe différentes techniques d'apprentissage de l'écriture et de les adapter aux besoins spécifiques et individuels de ses élèves.

C.2 État des travaux

Ce projet termine sa deuxième année tel que mentionné précédemment. Nous avons complété la formalisation d'un modèle neuromusculaire de contrôle et de génération de trajectoires bidimensionnelles, en généralisant un modèle unidimensionnel préalablement développé [11,12]. Ce modèle bidimensionnel [14] permet de reproduire avec une très haute précision l'écriture manuscrite et d'en comprendre les lois fondamentales de régulation [21].

Nous avons analysé comment ce modèle pourrait être utilisé pour comprendre comment les fluctuations statistiques des paramètres neuromusculaires décrivant l'état d'un scripteur pourrait affecter la lisibilité d'un caractère [16].

Par la suite, nous avons concentré nos efforts sur la mise au point d'un logiciel de génération de lettres [22]. Ce logiciel comporte une interface graphique qui permet de générer la forme d'une lettre à partir de primitives simples pouvant être des segments de droites et des arcs de cercles. Une série de commandes interactives permet de fixer les attributs de la lettre et d'ajuster le gabarit global de celle-ci par rapport aux lignes directrices (régulures et trottoirs) présentes sur le cahier d'écriture. Ce générateur a été développé non seulement avec le souci de présenter à l'enfant une structure de lettres qui soit simple à mémoriser et à reproduire, mais aussi pour fournir une description structurée de la forme de la lettre utilisée par les processus d'analyse et de correction de l'écriture de l'enfant.

Ce logiciel permet par défaut, de reproduire la forme, le ductus et la cinématique de modèles de lettres utilisés par le Ministère de l'Éducation du Québec, le but étant de permettre à l'enfant de voir l'image d'une lettre, le sens des tracés à suivre et de s'assurer que chaque trait obéit à une loi delta-lognormale [11,12] décrivant la vitesse idéale de la pointe du crayon, telle que constatée dans le cas de mouvements parfaitement maîtrisés. Le logiciel permet aussi à une enseignante de définir ses propres modèles de tracés, car comme on a pu le constater dans les écoles, certaines enseignantes préfèrent montrer des variantes de lettres communément utilisées et qui n'existent pas dans la norme du Ministère de l'Éducation du Québec.

Suite aux visites que nous avons faites dans des écoles, nous avons fait une revue de l'enseignement de l'écriture au primaire. Par la suite, nous avons effectué trois études complémentaires. La première porte sur l'analyse du contexte scolaire et de la tâche d'enseignement de l'écriture, notamment la tâche de correction faite par l'enseignante et le retour

d'information à l'élève, puis l'analyse des caractéristiques des élèves et des enseignantes, à qui Scriptôt est destiné. La seconde fait l'analyse de plusieurs logiciels déjà utilisés à l'école primaire et la troisième fait rapport d'une étude qui a mené au choix d'une tablette graphique pour Scriptôt.

Une fois terminé, Scriptôt comprendra deux interfaces: l'une pour les élèves et l'autre pour les enseignants. À ce jour, nous nous sommes surtout concentrés sur l'interface pour les élèves puisque c'est à ces utilisateurs finaux que Scriptôt est d'abord et avant tout destiné. L'interface pour les élèves, dont des parties sont présentées dans Robert et al. [23] et dont le prototype informatique sera disponible sous peu, permet à ces derniers de faire différentes activités d'apprentissage de l'écriture.

Nous avons développé deux métaphores différentes pour l'interface destinée aux élèves parmi lesquelles nous devons en choisir une: le cahier d'exercices et la salle de jeu. La métaphore retenue devra intégrer l'ensemble des activités prévues dans le système tout en étant significative, attrayante et amusante pour les élèves. Les tests que nous projetons de faire au printemps 1999 auprès de plusieurs élèves et enseignantes va nous permettre de choisir et mettre au point la métaphore la plus satisfaisante.

Finalement, nous avons étudié de façon approfondie la tâche de correction des enseignantes de même que les commentaires verbaux ou écrits qu'ils font aux élèves, parce que la correction et le retour d'information sont les véritables raisons d'être du logiciel. Sans ces fonctionnalités, l'intérêt de ce logiciel est en effet beaucoup moindre. Ainsi, nous avons pu définir les deux groupes de recommandations suivantes pour les fonctionnalités de Scriptôt: les recommandations pour les fonctionnalités de correction de Scriptôt et les recommandations pour le retour d'information avec Scriptôt.

De plus, un formalisme englobant différentes métriques associées chacune à un aspect de l'apprentissage de l'écriture est en voie de développement. Jusqu'à aujourd'hui, nous avons considéré deux principales métriques: la première mesure la concordance de la forme tracée par l'enfant avec celle du modèle; la deuxième mesure la performance cinématique du tracé. Cette deuxième métrique mesure le degré de "*fluence*" du mouvement lors du tracé de la lettre. La "*fluence*" du mouvement reflète le degré d'automatisme associé à l'écriture d'une lettre. Cette mesure n'est effectuée que lorsque la forme produite par l'enfant est vraiment similaire à celle du modèle (i.e. lorsque la première mesure relative à la forme est satisfaisante). Le mouvement est

considéré comme "*fluent*" lorsque la vitesse présente un lobe unique pour chaque composante du tracé. À ce jour, cette mesure est exprimée de façon binaire (*fluent* ou *non fluent*) en comptant le nombre de lobes sur chaque trait. Cependant, dans notre formalisme, la *fluence* est exprimée de façon continue par l'erreur quadratique entre le profil de vitesse du générateur du modèle et le profil de vitesse de l'enfant en tenant compte des différentes levées et pauses du crayon.

Du point de vue intégration des différents modules, suite à l'étude préliminaire de marché entreprise lors de la 1^{ère} année du projet, nous avons fait une étude comparative des technologies d'écrans à cristaux liquides, des digitaliseurs et des blocs-notes électroniques. Nous avons décidé de baser la première version du logiciel Scriptôt sur une tablette digitalisante dont la surface fait office d'écran à cristaux liquides plutôt que sur un bloc-notes autonome. L'intérêt primordial découlant de l'utilisation de cette tablette est sa grande dimension et la possibilité de supporter Scriptôt sur n'importe quel ordinateur (PC), simplement en y connectant cette tablette. À cela s'ajoute le fait qu'on peut gérer ou piloter le déroulement de Scriptôt sur l'écran de l'ordinateur alors que l'enfant est autonome avec la tablette.

Ce choix de tablette nous a amenés à revoir la plate-forme que nous allons utiliser pour réaliser le premier prototype fonctionnel. Certaines fonctions Windows qui étaient naturellement basées sur la gestion de la souris (ou du crayon, en ce qui concerne le bloc-notes électronique) doivent être émulées et par conséquent, réécrites avec notre tablette. La structure globale du logiciel reste cependant inchangée.

Nous avons donc les fonctions de génération d'écriture et certains exercices avec l'interface de Scriptôt. Bien que nous ayons dès le début choisi de développer toutes les parties du logiciel avec Visual C++ pour simplifier l'intégration globale, il demeure que le code de certaines fonctions (notamment, les exercices) doit souvent être réécrit en fonction du contexte de l'environnement et des variables imposées par la structure de l'interface. Ces fonctions sont souvent les fonctions d'exercices basées sur la gestion du crayon (ou de la souris).

C.3 Suite #3

Au cours de la prochaine année, nous allons compléter la conception de l'interface pour les enseignantes, tester et valider le prototype en milieu scolaire et tester la première version du formalisme complexe de la métrique d'apprentissage. Pour ce faire, nous allons d'abord procéder au test de l'analyseur (ou du correcteur) de l'écriture. Le but du test est de

s'assurer des différents ajustements heuristiques des seuils qui régissent la prise de décision de l'analyseur de forme (notamment, les seuils de dissemblance-ressemblance entre arcs de cercles ou entre segments de droite et arcs de cercle, etc.) ainsi que de s'assurer que l'analyseur fait ressortir les erreurs par degré de pertinence. Par la suite, nous implanterons le suivi des mesures de concordance de forme et de *fluence* pour retracer de façon automatique, l'évolution de chaque enfant. Nous compléterons l'intégration des exercices au projet et nous ajouterons d'autres exercices relatifs à l'écriture cursive ainsi que quelques exercices portant sur les chiffres.

L'utilisation quotidienne de Scriptôt placera l'élève dans des situations d'apprentissage favorables. À son rythme, l'élève entreprendra ou poursuivra son apprentissage des lettres minuscules ou majuscules ainsi que des chiffres. Cet outil guidera et corrigera l'élève dans son cheminement tout en lui donnant le goût d'écrire. Un retour d'information personnalisé assurera une meilleure progression de l'apprenant.

L'interface conviviale de cet outil donnera l'occasion à l'enseignant qui ne l'a pas déjà fait de s'approprier graduellement les nouvelles technologies et d'offrir à ses élèves une pédagogie renouvelée. Les activités offertes rejoindront les objectifs des programmes d'étude. Son enseignement sera donc adapté au rythme de chacun de ses élèves. De plus, il pourra allouer plus de temps dans ses interventions individuelles et soutenir davantage les élèves en difficulté.

3 CONCLUSION

Les trois projets que nous avons brièvement présentés dans cet article s'inscrivent dans une démarche qui vise à moyen terme de permettre à un usager d'utiliser un bloc-notes électronique pour différentes tâches nécessitant l'emploi de l'écriture manuscrite et de commandes gestuelles. Notre objectif premier étant dans chaque cas de réaliser un prototype fonctionnel dans un délai bien défini et à l'intérieur de budgets restreints, nous avons dû faire preuve de compromis à de nombreuses reprises pour en arriver à des solutions réalistes. Comme dans tout projet de type « *preuve de concept* », certains objectifs spécifiques ont dû être modifiés à quelques reprises et certaines pistes novatrices ont dû être écartées, du moins temporairement, faute de temps, d'argent ou de main-d'œuvre.

Dans une perspective plus globale, ces projets visent à assurer la survie de l'écriture manuscrite comme moyen de communication en tirant profit du

double avantage qu'elle offre sur l'emploi du clavier et de la souris, à savoir la simultanéité des opérations pointage et message. Dans de nombreuses applications cet avantage, à lui seul, justifie la nécessité de développer de tels systèmes. Ceci sera d'autant plus vrai au fil des progrès que connaîtra la technologie des blocs-notes électroniques dans sa longue convergence vers la duplication proprement dite de cette interface si simple et si répandue : un crayon et une feuille, et vers son intégration à des interfaces multimodales beaucoup plus ergonomiques.

4 REMERCIEMENTS

Le projet Braille, financé par une subvention FCAR-CEFRIO-CRIM (IL0004), est le résultat d'une collaboration de différentes universités et partenaires commerciaux dont, messieurs Jean-Claude Guédon, professeur au département de littérature comparée de l'Université de Montréal, Jean-Jules Brault, professeur au département de génie électrique et de génie informatique à l'École Polytechnique de Montréal, Sylvain Delisle et Fathallah Nouboud, tous deux professeurs au département de mathématiques et informatique de l'Université du Québec à Trois-Rivières, et Robert Sabourin, professeur au département de production automatisée à l'École de Technologie Supérieure, Éric Bergeron de CEDROM-SNI, Béchir El-Gharbi des Ordinateurs Prosys-Tec Inc., Charles Petit de Visuaide, André Vincent de la Bibliothèque Jeanne Cypihot, Daniel Lapointe de la Magnétothèque, Paul Henri Buteau de l'Institut Nazareth et Louis Braille, monsieur Pierre-Paul Bélanger de l'Union mondiale des aveugles, madame Sylvia Sabeva, étudiante à la maîtrise et monsieur Xiaolin Li, stagiaire post-doctoral du département de génie électrique et génie informatique de l'École Polytechnique, messieurs Hong Trang Nguyen et Salim Djeziri, tous deux associés de recherche au laboratoire *Scribens*.

Le projet Scriptôt, financé par le programme d'actions concertées en NTIC du FCAR (NT-0017), n'aurait pu être mis en œuvre sans la précieuse collaboration de messieurs Jean-Marc Robert, professeur au département de mathématiques et génie industriel, Salim Djeziri, associé de recherche du laboratoire *Scribens*, Xiaolin Li, stagiaire post-doctoral, Hong Trang Nguyen, associé de recherche au laboratoire *Scribens*, madame Mireille Audet étudiante à la maîtrise, tous de l'École Polytechnique de Montréal, madame Hélène Lacerte, animatrice du CEMIS régional à la Commission scolaire Marguerite-Bourgeoys, madame Lise Ouellet du Ministère de l'éducation du Québec et mesdames Micheline Charest

et Lise Lefebvre, toutes deux enseignantes à la Commission scolaire Marguerite-Bourgeoys.

Le projet Comptapen, financé dans le cadre d'une subvention stratégique du CRSNG (STP 0192785), est développé avec la précieuse collaboration de Monsieur Serge Boudreau, président de la compagnie Comptapac Ltée, monsieur Denis Paquette, programmeur-analyste de la compagnie Comptapac, monsieur Giang Do-Tien, associé de recherche du laboratoire *Scribens* de l'École Polytechnique de Montréal, messieurs Salim Djeziri, Hong Trang Nguyen et Wacef Guerfali tous trois associés de recherche du laboratoire *Scribens*.

L'auteur tient à les remercier tous pour leur indispensable collaboration, ainsi que Madame Hélène Dallaire pour la mise en page de cet article et M. Wacef Guerfali, Salim Djeziri et Hong Trang Nguyen pour la révision du texte final.

5 RÉFÉRENCES

- [1] C.C. Tappert, C.Y. Suen, T. Wakahara, "The State of the Art in On-Line Handwriting Recognition", *IEEE Trans. on PAMI*, Vol. 12, No 8, pp. 787-808, 1990.
- [2] R. Plamondon, D. Lopresti, L.R.B. Schomaker, R. Srihari, "On-Line Handwriting Recognition", *article invité, Wiley Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering*, J.G. Webster Ed., John Wiley & Sons, N.Y., vol. 15, pp. 123-146, parution mi-mars 1999.
- [3] Lempeis Research, *The Time for Pen Computing is At-Hand*, PenVision News, Vol. 2, No 1, January 1992.
- [4] R. Plamondon, J.C. Guédon, J.J. Brault, S. Delisle, F. Nouboud, R. Sabourin, S. Djeziri, S. Sabeva, H.T. Nguyen, X. Li, E. Gourrier, "Reconnaissance du braille pour l'édition et la mise en ligne de textes sur réseau Internet", École Polytechnique de Montréal, Rapport technique EPM/RT-99/01, 104 pages, janvier 1999.
- [5] R. Plamondon, J.C. Guédon, J.J. Brault, "Numérisation du braille ou comment surmonter l'aveuglement des voyants", à paraître dans la *Revue Interface*, en septembre 1999.
- [6] S. Sabeva, J.J. Brault, R. Plamondon, "Codage isométrique de tracés manuscrits pour la classification de séquences à l'aide d'un réseau", *1^{er} Colloque International Francophone sur l'Écrit et le Document*, Québec, pp. 121-130, mai 1998.
- [7] X. Li, M. Parizeau, R. Plamondon, "Segmentation and Reconstruction of On-Line Handwritten Scripts", *Pattern Recognition*, Vol. 31, No 6, pp. 675-684, 1998.

- [8] X. Li, D.Y. Yeung, "On-line Handwritten Alphanumeric Character Recognition Using Dominant Points in Stroke", *Pattern Recognition*, Vol. 30, No 1, pp. 31-44, 1996.
- [9] G. Do-Tien, R. Plamondon, "*Projet COMPTAPEN: Conception d'un bloc-notes électronique intelligent pour la vérification comptable*", Rapport d'étape #1, 9 pages, août 1997.
- [10] G. Do-Tien, R. Plamondon, "*Projet COMPTAPEN: Conception d'un bloc-notes électronique intelligent pour la vérification comptable*", Rapport d'étape #2, 17 pages, juillet 1998.
- [11] R. Plamondon, "A Kinematic Theory of Rapid Human Movements: Part I: Movement Representation and Generation", *Biological Cybernetics*, Vol. 72, No 4, pp. 295-307, 1995.
- [12] R. Plamondon, "A Kinematic Theory of Rapid Human Movements: Part II: Movement Time and Control", *Biological Cybernetics*, Vol. 72, No 4, pp. 309-320, 1995.
- [13] R. Plamondon, "A Kinematic Theory of Rapid Human Movements: Part III: Kinetic Outcomes", *Biological Cybernetics*, Vol. 78, pp. 133-145, 1998.
- [14] R. Plamondon, W. Guerfali, "The Generation of Handwriting with Delta-Lognormal Synergies", *Biological Cybernetics*, Vol. 78, pp. 119-132, 1998.
- [15] R. Plamondon, X. Li, "Handling Forward-Backward State Transition with Dual Hidden Markov Model", accepté à *IEEE Trans. on PAMI*, 29 pages, novembre 1997.
- [16] W. Guerfali, R. Plamondon, "Effect of Variability on Letter Generation with the Vectorial Delta-Lognormal Model", *article invité, 1st Bresilian Symposium on Document Image Analysis*, pp. 74-83, novembre 1997.
- [17] W. Guerfali, R. Plamondon, "A New Method for the Analysis of Simple and Complex Planar Rapid Movements", *Journal of Neuroscience Methods*, Elsevier Science Publishers, Vol. 82, No 1, pp. 35-45, juillet 1998.
- [18] M. Parizeau, R. Plamondon, R., "A Fuzzy Syntactic Approach to Allograph Modelling for Cursive Script Recognition", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 17, No 7, pp. 702-712, 1995.
- [19] M. Lally, I. MacLeod, "Development of Skills Through Computers: Archieving an Effective, Enjoyable Learning Environment", *Impact of Science on Society*, Vol. 32, No 4, pp. 449-460, 1982.
- [20] R.B. Ammons, "Effect of Knowledge of Performance. A Survey and a Tentative Theoretical Formulation", *Journal of General Psychology*, Vol. 54, pp. 279-299, 1956.
- [21] R. Plamondon, W. Guerfali, W. "The 2/3 Power Law : When and Why?", *Acta Psychologica*, vol. 100, pp. 85-96, 1998.
- [22] S. Djeziri, R. Plamondon, J.M. Robert, "A Letter Model Generator To Assist Handwriting Teaching", soumis à *IGS'99*, 7 pages, janvier 1999.
- [23] J.M. Robert, S. Djeziri, M. Audet, R. Plamondon, "Scriptôt: A Pen Based Software to Support Handwriting Learning in Primary School", soumis à *INTERACT'99*, février 1999, 7 pages.