

Prédiction de lettre pour l'aide à la saisie de texte

Igor Schadle, Brigitte Le Pévédic, Jean-Yves Antoine, Franck Poirier
Laboratoire VALORIA/Equipage, Université de Bretagne-Sud (EA 2593)
rue Yves Mainguy, 56000 Vannes
+33 2 97 68 32 32
igor.schadle@univ-ubs.fr

RÉSUMÉ

Le cadre du projet Sibylle est de réaliser un outil d'aide à la saisie de texte pour personne handicapée. L'objectif est d'améliorer la vitesse de saisie en intégrant des connaissances d'ordre linguistique.

Dans cet article, nous présentons la première partie de Sibylle qui s'intéresse plus particulièrement au problème de la sélection des lettres en défilement automatique. Nous proposons d'intégrer au clavier simulé une prédiction de lettres afin de présenter en priorité les lettres ayant la plus forte probabilité d'apparition. La prédiction est réalisée en contexte après chaque saisie. Elle s'appuie sur une modélisation statistique par n-gramme pour estimer les probabilités.

MOTS-CLÉS

Aide à la saisie de textes, prédiction de lettre, modèle statistique n-gramme.

INTRODUCTION

Certains handicaps moteurs, paralysie des membres supérieurs et troubles de la parole, rendent les fonctions de communication difficiles. Le rôle des « aides techniques » est de restaurer partiellement cette fonction par l'intermédiaire d'un système de suppléance.

L'aide à la saisie de textes entre dans cette catégorie. Le principe est d'utiliser un éditeur de textes avec une interface adaptée : au clavier réel se substitue un clavier simulé (figure 1) actionné par une interface matérielle adaptée (joystick, bouton poussoir, commande oculaire, etc.) Cette dernière dépend du geste laissé libre par le handicap.

Le problème principal de cette aide est la lenteur de saisie. Ce problème devient particulièrement important lorsque l'interface n'autorise que l'équivalent d'un simple clic (bouton poussoir). Dans ce cas, la sélection des touches ne peut être réalisée que par un système de défilement automatique, ce qui ralentit d'autant plus la vitesse de saisie.

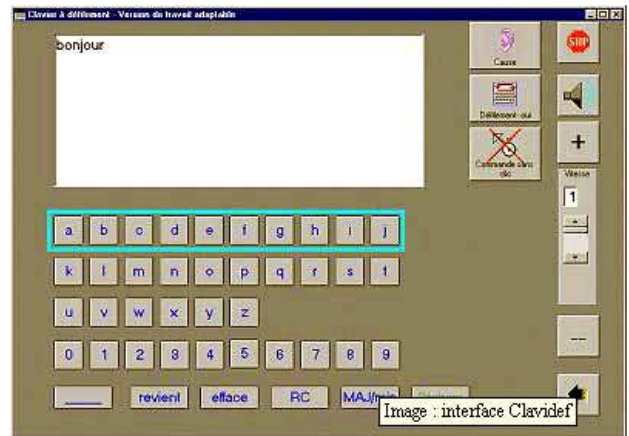


Figure 1 : Exemple d'interface d'aide à la saisie de texte avec éditeur et clavier simulé¹

Pour accélérer la vitesse de saisie, diverses solutions sont envisageables :

- Permettre un accès rapide à la bonne lettre : défilement ligne / colonne (cf. infra), prédiction de lettre.
- Economiser le nombre de saisies : rappel de phrases pré-enregistrées, utilisation d'abréviations, prédiction de mot.

L'objectif de notre projet Sibylle² est d'élaborer un outil d'aide à la saisie de textes basé sur une prédiction de mots. A l'heure actuelle, les logiciels du commerce offrant cette possibilité basent leurs propositions sur la fréquence d'apparition des mots dans la langue, indépendamment de leur contexte [12]. Ainsi, pour le début de phrase *Le chat mange la sou...*, la liste affichera indifféremment : *sourire, souris, soucoupe, soucoupes...* Le recours à des connaissances linguistiques permet d'améliorer la pertinence de ces propositions. Ceci a pour effet non seulement d'augmenter l'efficacité du système mais également le confort d'utilisation. Sur l'exemple précédent, certains mots sont ainsi inadéquats et ce, à différents niveaux linguistiques :

¹ Clavidef : clavier à défilement développé à la demande du Département de Recherches sur les Aides à la Communication (DRAC)

² Projet supporté par le conseil régional de Bretagne.

- morphosyntaxique : * *la soucoupes* (accord singulier-pluriel)
- syntaxique : * *le chat mange la souris* (verbe après un déterminant)
- sémantique : * *le chat mange la soucoupe* (objet animé ou substance attendu)

Ainsi, ce que nous souhaitons réaliser, comme les projets KOMBE [7], VITIPI [3] et HandiAS [5][6] s'inscrit dans la démarche suivante : baser le système sur un modèle de langage pour prédire les mots.

La prédiction de mots est cependant une tâche relativement complexe. Les systèmes VITIPI et HandiAS annoncent des gains de saisies entre 26 % et 45 %. Ceci laisse encore plus de 50 % des saisies dans des conditions difficiles. De plus, la prédiction de mot est inopérante dans le cas où l'utilisateur tape un mot inconnu du système. Dans ces conditions, la sélection des lettres reste problématique. Nous avons donc réalisé en première partie à Sibylle un système plus particulièrement adapté à la sélection des lettres. Il s'agit d'un système de clavier dynamique avec prédiction de lettre. Le principe est de réorganiser les lettres sur le clavier en fonction de leur probabilité d'apparition et ce, après chaque saisie. La prédiction tient compte de la saisie du mot en cours et utilise une modélisation statistique par n-gramme.

Ce projet s'effectue en collaboration avec le Centre Mutualiste de Rééducation et Réadaptation Fonctionnelle (CMRRF) de Kerpape. Le centre de Kerpape apporte son expérience (citons notamment ses participations aux projets d'aide à la communication PVI [11] et Axelia [2] ainsi que leur réalisation du téléphone adapté SMARTIX [10]) et sert de centre de validation. Dans le cadre de cette collaboration, de nombreux patients sont des enfants IMC (Infirmes Moteurs Cérébraux) aux facultés motrices très réduites utilisant comme interface matérielle le bouton poussoir.

L'article est organisé de la manière suivante : après un rappel sur la problématique liée à la sélection par défilement automatique, nous présentons notre système de clavier dynamique avec prédiction de lettre. Nous décrivons ensuite le modèle de prédiction employé. Les dernières parties portent sur l'évaluation : évaluation du modèle de prédiction, évaluation des performances en vitesse de saisie et enfin évaluation par les personnes handicapées.

PROBLEMATIQUE

Le problème de lenteur lié au défilement automatique peut être mis simplement en évidence de la manière suivante : dans le cas d'un défilement lettre par lettre (appelé défilement linéaire), l'accès à la lettre médiane d'un clavier de 65 touches nécessite 33 défilements.

Pour améliorer le temps d'accès, la solution actuellement adoptée par les logiciels du commerce [8][12] est le

défilement appelé « ligne / colonne ». La sélection se fait alors en deux temps : sélection de la ligne où se trouve la lettre puis sélection de la lettre dans la ligne. Sur l'exemple précédent, l'accès à la lettre médiane est ainsi réalisé en 8 défilements. Il faut cependant noter que ce gain est réalisé avec une « validation » supplémentaire (sélection de la ligne puis de la lettre). Ceci peut entraîner des erreurs de saisie lorsque le geste est mal contrôlé (le rôle de la rééducation fonctionnelle est généralement de rééduquer ce geste).

Une autre approche consiste à présenter prioritairement les lettres dont la probabilité d'apparition est la plus forte. Cette idée était déjà utilisée dans les tableaux de lettres qui organisaient les lettres en fonction de leur fréquence observée dans la langue. Grâce au clavier simulé, il est possible de généraliser cette approche en prenant en compte le contexte de saisie et en actualisant l'ordre après chaque saisie : l'ordre était statique, il devient dynamique. C'est ce principe que nous avons utilisé pour notre système.

PRESENTATION

Cette partie présente une interface réalisée intégrant le clavier simulé dynamique (figure 2). Il s'agit de l'application actuellement utilisée au CMRRF de Kerpape.

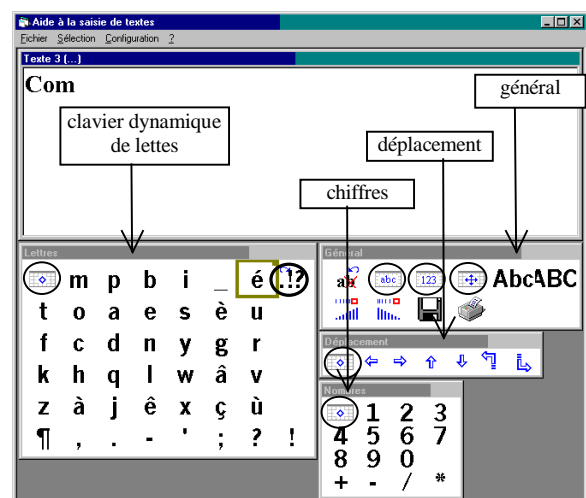


Figure 2 : Exemple d'interface de l'application réalisée avec clavier simulé dynamique.

Ergonomie

L'interface est composée d'une zone d'édition et de plusieurs claviers. Ces derniers regroupent les fonctionnalités par thèmes (fonctions générales, clavier de lettres, de chiffres, de déplacement dans l'éditeur). Ce regroupement permet de minimiser le nombre de touches à balayer lors de la saisie. La navigation entre ces différents claviers est réalisée en sélectionnant des touches spéciales de basculement de clavier (touches entourées). Seul le clavier de lettres est dynamique.

Par rapport à une interface habituelle, l'application intègre également quelques fonctionnalités supplémentaires :

- Une touche de 'saut' permet d'accéder rapidement aux caractères de ponctuation (cette touche est située en haut à droite dans le clavier de lettre)
- Un « clic long » marqué par un changement de couleur du curseur offre un degré de liberté supplémentaire (utilisé en défilement linéaire pour remettre le curseur en position initiale).
- Les lettres accentuées sont parfaitement intégrées aux autres lettres (elles bénéficient de la prédiction) contrairement aux présentations habituelles qui les placent en fin de clavier et rendent leur utilisation peu aisée.

Clavier dynamique de lettres

Le principe du clavier dynamique de lettres est le suivant : après chaque saisie, le contexte (les lettres déjà saisies du mot en cours) est donné au module de prédiction. En retour, celui-ci délivre la liste des lettres classées en fonction de l'estimation de leur probabilité d'apparition. La liste contient également un caractère « fin de mot », symbolisé par l'espace. Le clavier simulé est alors réorganisé pour refléter ce nouvel ordre, le curseur remis en position initiale (en haut à gauche du clavier) et le défilement automatique reprend.

Le type de défilement utilisé est le défilement linéaire. Le choix est contraint car le défilement ligne / colonne est rendu inadapté par l'aspect dynamique (le temps de trouver visuellement la ligne sur laquelle se trouve la lettre désirée, le défilement risque d'avoir passé cette ligne).

La figure 3 présente une simulation pour la saisie du mot « COMP...TER ». Le tableau 1 présente les étapes successives de la saisie avec le contexte envoyé au module de prédiction, les premières propositions retournées et la saisie réalisée.

Contexte	Propositions	Saisie
∅	DLPAEC...	C
C	OEH...	O
CO	NMU...	M
COM	MPB...	P

Tableau 1 : Contexte et propositions pour la saisie de COMP...TER

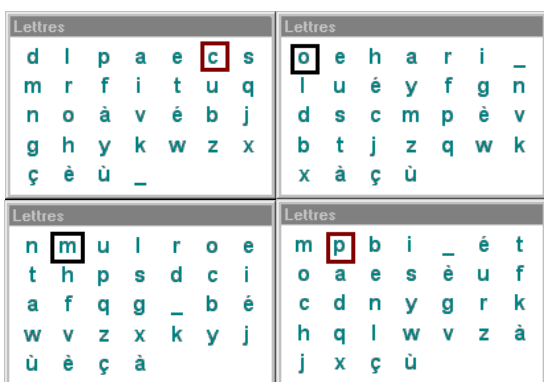


Figure 3 : Exemple de réorganisation dynamique du clavier sur le début de mot COMP...TER

Nous allons maintenant présenter plus en détail le modèle utilisé pour la prédiction de lettre.

MODELISATION

Dans le cadre de Sibylle, nous souhaitons une prédiction de lettre robuste. En particulier, elle doit être efficace dans le cas des mots inconnus, là où la prédiction de mot n'intervient pas. Nous avons pour cela opté pour une modélisation statistique basée sur les données, avec un modèle n-gramme.

Ce modèle, couramment utilisé en ingénierie linguistique (reconnaissance vocale, étiquetage morphosyntaxique, etc.), a en effet pour avantage une certaine robustesse liée à sa nature statistique et une relative simplicité de mise en œuvre.

Bases théoriques

De manière stricte, la probabilité d'apparition d'une observation (dans notre cas d'une lettre) dépend de toute séquence passée. La probabilité de la séquence L_1, \dots, L_m sera ainsi écrite comme le produit de probabilités conditionnelles :

$$PROB(L_1, \dots, L_m) = PROB(L_1 | \emptyset) \times \prod_{i=2}^{i=m} PROB(L_i | L_1, \dots, L_{i-1})$$

où \emptyset est une pseudo observation ajoutée pour prendre en compte le début de la séquence.

Compte tenu du nombre de séquences possibles, ce résultat n'est pas directement exploitable car l'estimation de ces probabilités nécessiterait un trop grand nombre de données. Cependant, une bonne approximation consiste à se limiter à un contexte d'estimation de n observations. Ce modèle est appelé n-gramme, où n représente le nombre d'observations utilisées. Il exprime le fait que la probabilité d'apparition d'une séquence peut être donnée de manière satisfaisante par une combinaison de probabilités basée sur les $n-1$ observations précédentes :

$$PROB(L_1, \dots, L_m) \approx PROB(L_1 | \emptyset) \times \prod_{i=1}^{i=m} PROB(L_i | L_{i-(n-1)}, \dots, L_{i-1})$$

L'approximation est d'autant meilleure que le paramètre n est élevé.

Dans le cadre de notre prédiction de lettre, la séquence L_1, \dots, L_{m-1} correspond au début du mot en cours de saisie. Cette séquence est connue et notre problème consiste plus simplement à classer les lettres en fonction des probabilités $PROB(L_m | L_{m-(n-1)}, \dots, L_{m-1})$, ou encore des fréquences $FREQ(L_m | L_{m-(n-1)}, \dots, L_{m-1})$. Le calcul de ces fréquences est réalisé sur un corpus d'apprentissage (cf. infra).

Difficulté du modèle n-gramme

La nature statistique du modèle n-gramme pose le problème de la représentativité des données fournies au système pour le calcul des probabilités. Ce problème est connu sous le nom d'éparpillement des données [1] où un grand nombre de données est concentré sur un petit nombre de cas. Ceci implique également qu'un grand nombre de séquences ne sont pas observées et se voient

affectées d'une probabilité nulle. Parmi les techniques employées pour obtenir des estimations fiables, nous avons adopté une technique de repliement : le module de prédiction classe les lettres en fonction des probabilités de l'ordre n non nulles, puis pour les lettres restantes il fait appel aux probabilités sur l'ordre $n-1$ et ainsi de suite jusqu'à un classement complet.

Corpus

Le corpus utilisé pour estimer les probabilités est celui du journal « Le Monde³ ». Les données représentent tous les articles du journal sur une période de 5 ans (1995 à 1999). Comme la prédiction porte seulement sur les lettres des mots et la fin des mots, nous avons effectué deux pré-traitements :

- Suppression des caractères autres que les lettres et l'espace (65 caractères)

- Conversion des majuscules en minuscules

Après traitement, le corpus obtenu contient 600 millions de caractères (lettres et espaces) et 110 millions de mots pour 400 000 formes fléchies.

EVALUATION

Les sections suivantes présentent l'évaluation du système. L'évaluation a porté sur trois aspects :

- Evaluation du modèle de prédiction : les résultats donnent une indication sur la difficulté de la tâche et permettent la comparaison avec d'autres modèles de prédiction de lettre.

- Evaluation du clavier dynamique en termes de gain en vitesse de saisie, ceci afin de mesurer l'intérêt de notre système du point de vue utilisateur.

- Evaluation qualitative en situation réelle : il s'agit essentiellement de valider l'ergonomie de l'interface intégrant le clavier dynamique (en particulier sur l'aspect dynamique.)

EVALUATION DU MODELE DE PREDICTION

Pour évaluer les capacités prédictives du système, nous avons cherché à mesurer la pertinence de la liste délivrée par le module de prédiction. A cet effet, nous avons calculé la *prédiction moyenne* (rang moyen de la lettre attendue) :

$$PM = \frac{1}{N} \times \sum_{i=1}^{i=N} Rang(i)$$

où N est le nombre de relevés total et $Rang(i)$ le rang obtenu à l'observation i .

L'apprentissage des probabilités du modèle n -gramme a été réalisé sur quatre années du corpus (corpus d'apprentissage), la cinquième année servant de corpus de test (autour de 20 % des données). Cinq séries de tests ont

été réalisées (chaque année a servi de corpus de test), afin d'effectuer une validation croisée [1]. Seule la moyenne est présentée dans les résultats de l'évaluation.

L'évaluation a porté sur des valeurs de n allant de 1 à 5. Pour la suite, nous rappelons que n est la longueur de la séquence et $n-1$ la taille du contexte.

La figure 4 présente les résultats obtenus pour les valeurs n de 1 à 5.

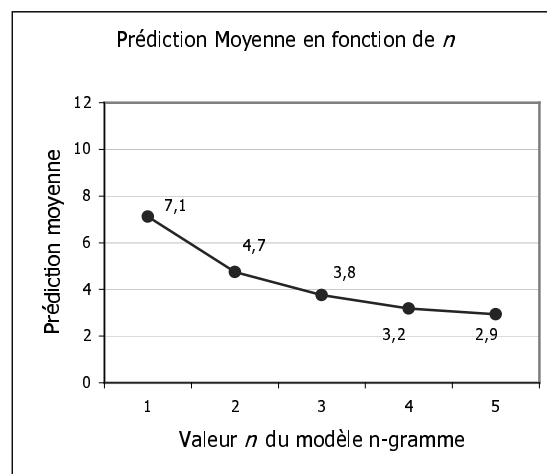


Figure 4 : Prédiction moyenne en fonction de n

Les résultats permettent de constater que le paramètre n est important. La prédiction moyenne varie de 7,1 pour $n=1$ à 2,9 pour $n=5$ soit un gain de 59 %. Si l'on rappelle que pour $n=1$, le modèle n -gramme ne tient pas compte du contexte (seulement la fréquence des lettres), on peut constater qu'un système basé uniquement sur l'ordre fréquentiel est loin d'être optimal.

Les résultats semblent également indiquer que la limite du modèle n'est pas atteinte. Nous avons limité notre évaluation à $n=5$ pour des raisons de volume des données et de temps de calcul. Dans le cadre de Sibylle, ceci n'est cependant pas une restriction car on peut estimer qu'avec un contexte de 5 lettres la prédiction de mot aura joué son rôle.

Complexité de la tâche

Qualitativement, les résultats précédents (prédiction moyenne peu élevée) laissent à supposer que la tâche de prédiction de lettre est relativement aisée. Ceci peut être montré plus formellement à l'aide d'une mesure de perplexité.

La perplexité est une notion souvent utilisée pour mesurer la complexité d'une tâche en fonction d'un modèle [1]. Cette perplexité est définie comme étant 2^H , où H est l'entropie moyenne sur toutes les lettres des mots étant donné le modèle de langage :

$$H = \sum_h \text{PROB}(h) \sum_{i=1}^N \text{PROB}(L_i|h) \log_2 \text{PROB}(L_i|h)$$

où L_i représente une lettre et h une séquence du modèle.

³ « Le Monde » Text Corpus Version 1.0 Years 1995 to 1997 & 1998 and 1999

Le tableau 3 donne la perplexité pour les valeurs n de 1 à 5.

n	1	2	3	4	5
Perplexité	17,4	10,2	6,9	5,0	4,1

Tableau 3 : Perplexité en fonction de n

A titre de comparaison, la perplexité du modèle n -gramme avec $n=3$ pour les mots est de 247 en anglais général, 105 en style journalistique et 20 dans le domaine de la radiologie [9].

EVALUATION DU CLAVIER DYNAMIQUE

Après l'évaluation des capacités prédictives du modèle n -gramme, nous avons tout naturellement cherché à mesurer le gain apporté par cette prédiction sur le temps de sélection. A cet effet, nous avons comparé les différents modes de sélection possibles.

Paramètres de comparaison

La vitesse de sélection dépend de deux paramètres : le type de défilement (linéaire ou ligne / colonne) et l'organisation des lettres selon leur probabilité d'apparition. Nous avons distingué trois types d'organisation :

- 0 : le classement des lettres ne tient pas compte de leur probabilité d'apparition comme par exemple les ordres alphabétique et AZERTY.
- fréquentielle (noté Frq) : les lettres sont organisées sur le clavier en fonction de leur fréquence d'apparition dans la langue (cas $n=1$ dans le modèle n -gramme).
- dynamique : les lettres sont réorganisées après chaque saisie, en fonction de l'estimation de leur probabilité d'apparition en contexte. L'estimation dépend du modèle de prédiction (et donc de n pour le modèle n -gramme)

Métrique

La métrique employée pour cette évaluation est le *nombre de défilements moyens* pour accéder à la lettre souhaitée. Le nombre de validations nécessaire est également pris en compte.

Résultats

Les résultats sont donnés par le tableau 4 (Lin = défilement linéaire, LC = défilement ligne / colonne, Val = nombre de validations).

	statique		dynamique				Val
	0	Frq	$n=2$	$n=3$	$n=4$	$n=5$	
Lin	33	7,1	4,7	3,8	3,2	2,9	1
LC	8	4,3					2

Tableau 4 : Nombre de défilements moyen en fonction du mode de défilement et de l'ordre des lettres

Performances de l'ordre 0 :

En première remarque, il nous semble important de rappeler que les logiciels commercialisés présentent généralement les lettres dans l'ordre alphabétique ou « AZERTY ». Cet ordre correspond à l'ordre 0 dans notre

évaluation. Les résultats obtenus (en italique, colonne 0) montrent clairement que ces ordres ne sont pas appropriés.

Performances du défilement ligne / colonne :

Les résultats mettent également en évidence l'efficacité du défilement ligne / colonne par rapport au défilement linéaire. Ainsi, pour l'ordre fréquentiel (col. Frq), le nombre de défilements est respectivement de 4,3 et 7,1 (soit un gain de 42 %). Ce gain permet de justifier la validation supplémentaire introduite par le défilement ligne / colonne dans le cas des ordres statiques.

Performances de la prédiction de lettre :

Ces résultats montrent l'intérêt de la prédiction de lettre. Notre système obtient de meilleurs résultats (2,9 avec $n=5$) que le défilement ligne / colonne avec ordre fréquentiel (4,3), soit un gain de 32 % en nombre de défilements. Le gain est d'autant plus appréciable que la sélection nécessite deux fois moins de validations.

EVALUATION QUALITATIVE

Cette dernière évaluation est consacrée à l'évaluation de l'interface avec clavier dynamique auprès des personnes handicapées. Dans notre cas, cette évaluation est particulièrement importante car il est difficile d'estimer la surcharge cognitive potentielle apportée par l'aspect dynamique, mais également des touches « de saut » et du « clic long ». Cette évaluation est essentiellement qualitative.

L'application est actuellement testée avec deux enfants IMC au CMRRF de Kerpape. Les résultats sur l'aspect dynamique sont tranchés : si ces deux enfants ont accueilli favorablement le logiciel, un troisième a préféré retourner à un mode de sélection statique (ce dernier souffre de problèmes de poursuite oculaire).

Pour les deux premiers enfants, les résultats sont positifs. L'adaptation à cette nouvelle aide a été rapide, l'apprentissage des sauts de touche et du clic long n'a pas posé de problème particulier. Le gain apporté par la prédiction est essentiellement apprécié en termes de « confort ». Le personnel encadrant (en particulier le maître d'école de Kerpape) remarque qu'ils composent plus de textes et font moins de fautes d'orthographe.

L'évaluation va se poursuivre avec l'ajout d'un mécanisme de boîte noire qui permettra de collecter plus d'informations quantitatives. Le logiciel va également être proposé à d'autres personnes, dont des adultes.

PERSPECTIVES

La bonne adaptation au clavier dynamique (dans le cas où il est accepté), permet d'envisager d'étendre le principe à des modes offrant plus de degré de liberté (souris, joystick) en réorganisant les lettres les plus probables autour de la lettre en cours. Pour les personnes manipulant ces interfaces physiques avec difficulté, ceci permettrait en effet de minimiser l'effort de déplacement.

Amélioration de la prédiction

Nous avons effectué des calculs supplémentaires sur les temps d'accès en fonction de la position de la lettre dans le mot. Les résultats laissent apparaître une difficulté sur la première lettre : la prédiction moyenne est de 7,1 sur la première lettre des mots tandis que les résultats sur les lettres suivantes sont inférieurs à la prédiction moyenne globale.

La suite de notre projet Sibylle est d'intégrer une prédiction de mot. Dans cette perspective, nous envisageons d'améliorer la prédiction de lettre à l'aide de connaissances de plus haut niveau (comme la prédiction de la prochaine classe syntaxique). On peut ainsi remarquer que pour la première lettre des mots (contexte \emptyset), les premières lettres proposées par la prédiction (*d* et *l*) correspondent aux mots les plus fréquents : *de*, *le* (et leurs formes fléchies).

Collaboration prédiction de lettre et de mot

La prédiction de lettre est très efficace pour les mots dont la fréquence est élevée dans la langue. Typiquement ces mots sont les mots grammaticaux qui sont généralement courts. Nous tiendrons compte de cette remarque pour l'affichage des mots proposés par le module de prédiction. Il est en effet inutile d'afficher un mot court dans la liste (dont l'accès est pénalisant), alors que sa saisie complète peut être rapide.

CONCLUSION

Nous sommes partis du constat que la prédiction de mot est une tâche difficile qui laisse encore un grand nombre de lettres à saisir par l'utilisateur. Cette saisie est particulièrement longue dans le cas d'une sélection avec défilement automatique.

Nous avons montré qu'une prédiction de lettre avec modélisation statistique par n-gramme obtenait de bons taux de prédiction. Nous proposons ainsi d'intégrer au clavier simulé une prédiction de lettre dynamique. Les résultats obtenus affichent un gain de 32 % en temps de saisie et 50 % en nombre de validations, par rapport à une

sélection utilisant un défilement ligne / colonne avec organisation fréquentielle.

REFERENCES

- [1] Allen J., *Statistical Methods Natural Language Understanding*, Chap. VII. Benjamins Cummings, 2e éd., 1998.
- [2] AXELIA, Communiquer par l'image et par le son, <http://www.axelia.com>.
- [3] Boissière P., Vitipi Un système autoorganisationnel pour faciliter le dialogue écrit homme-machine, Thèse de d'université, IRIT-UPS, Toulouse, 1990.
- [4] Boite R. et al. *Traitement de la parole*, Presses polytechniques et universitaires romandes.
- [5] Le Pévedic B., *Prédiction Morphosyntaxique Evolutive*, Thèse de doctorat, Ecole doctorale Sciences pour l'ingénieur de Nantes, 1997.
- [6] Maurel D., Fourche B., Briffault S., HandiAS : Aider la communication en facilitant la saisie rapide de textes, *Handicap 2000*, pp 87-92, 2000.
- [7] Richardet N., *Composition de phrases assistée - Un système d'aide à la communication pour handicapés*, Thèse de doctorat, Université de la Méditerranée, 1998.
- [8] RNT Réseau Nouvelles Technologies, Logiciels, 1997, <http://www.rnt-apf.org>.
- [9] Roukos S., *Survey of the state of the Art in Human Language Technology*, Chap. 1.6, Cambridge University Press, 1996.
<http://cslu.cse.ogi.edu/HLTsurvey/ch1node8.html>.
- [10] Scaviner A., Etude et réalisation d'un appareil adapté : le téléphone SMARTIX, *Handicap 2000*, pp 113-115, 2000.
- [11] Vaillant P., PVI : Système de traduction d'icônes en langue, *Interaction entre modalités sémiotiques : de l'icône à la langue*, Thèse de Sciences Cognitives, Université Paris-XI (Orsay), 1997.
- [12] Yanou, les claviers à l'écran <http://www.yanous.com/logiciels/essais/essais001027.html>.