

Projet ANR-12-TECS-0009-03

EOL : Eye On Line , poursuite dirigée pour écrire avec le regard

Programme TecSan 2012

A	IDENTIFICATION	2
B	RESUME CONSOLIDE PUBLIC	2
B.1	Instructions pour les résumés consolidés publics	2
B.2	Résumé consolidé public en français	3
B.3	Résumé consolidé public en anglais	5
C	MEMOIRE SCIENTIFIQUE	6
C.1	Résumé du mémoire	6
C.2	Enjeux et problématique, état de l'art	9
C.3	Approche scientifique et technique	9
C.4	Résultats obtenus	10
C.5	Exploitation des résultats	14
C.6	Discussion	15
C.7	Conclusions	15
C.8	Références	16
D	LISTE DES LIVRABLES	16
E	IMPACT DU PROJET	16
E.1	Indicateurs d'impact	16
E.2	Liste des publications et communications	17
E.3	Liste des éléments de valorisation	17
E.4	Bilan et suivi des personnels recrutés en CDD (hors stagiaires)	19

A IDENTIFICATION

Acronyme du projet	EOL
Titre du projet	Eye On Line : poursuite dirigée pour écrire avec le regard
Coordinateur du projet (société/organisme)	Jean Lorenceau CNRS
Date de début du projet	01-1-2013
Date de fin du projet (	30-10-2015
Site web du projet, le cas échéant	http://eol.scicog.fr/

Rédacteur de ce rapport	
Civilité, prénom, nom	M. Jean Lorenceau
Téléphone	06 60 21 82 11
Adresse électronique	Jean.lorenceau@ens.fr
Date de rédaction	Février 2016

Liste des partenaires présents à la fin du projet (société/organisme et responsable scientifique)	Salachas François (APHP, Hôp. Pitié-Salpêtrière) Diard Julien (LNCP, Grenoble) Baujon Jérôme (Pertech, Mulhouse) Lorenceau Jean, (ENS-DEC-LSP, Paris)
---	--

B RESUME CONSOLIDE PUBLIC

B.1 INSTRUCTIONS POUR LES RESUMES CONSOLIDES PUBLICS

Les résumés publics en français et en anglais doivent être structurés de la façon suivante.

Titre d'accroche du projet (environ 80 caractères espaces compris)

Titre d'accroche, si possible percutant et concis, qui résume et explicite votre projet selon une logique grand public : il n'est pas nécessaire de présenter exhaustivement le projet mais il faut plutôt s'appuyer sur son aspect le plus marquant.

Les deux premiers paragraphes sont précédés d'un titre spécifique au projet rédigé par vos soins.

Titre 1 : situe l'objectif général du projet et sa problématique (150 caractères max espaces compris)

Paragraphe 1 : (environ 1200 caractères espaces compris)

Le paragraphe 1 précise les enjeux et objectifs du projet : indiquez le contexte, l'objectif général, les problèmes traités, les solutions recherchées, les perspectives et les retombées au niveau technique ou/et sociétal

Titre 2 : précise les méthodes ou technologies utilisées (150 caractères max espaces compris)

Paragraphe 2 : (environ 1200 caractères espaces compris)

Le paragraphe 2 indique comment les résultats attendus sont obtenus grâce à certaines méthodes ou/et technologies. Les technologies utilisées ou/et les méthodes permettant de surmonter les verrous sont explicitées (il faut éviter le jargon scientifique, les acronymes ou les abréviations).

Résultats majeurs du projet (environ 600 caractères espaces compris)

Faits marquants diffusables en direction du grand public, expliciter les applications ou/et les usages rendus possibles, quelles sont les pistes de recherche ou/et de développement originales, éventuellement non prévues au départ.

Préciser aussi toute autre retombée= partenariats internationaux, nouveaux débouchés, nouveaux contrats, start-up, synergies de recherche, pôles de compétitivités, etc.

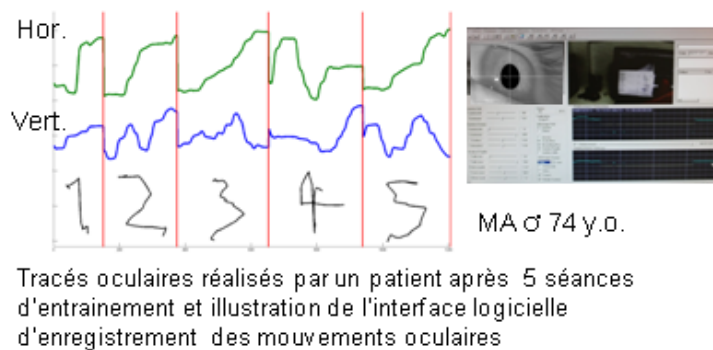
Production scientifique et brevets depuis le début du projet (environ 500 caractères espaces compris)

Ne pas mettre une simple liste mais faire quelques commentaires. Vous pouvez aussi indiquer les actions de normalisation

Illustration

Une illustration avec un schéma, graphique ou photo et une brève légende. L'illustration doit être clairement lisible à une taille d'environ 6cm de large et 5cm de hauteur. Prévoir une résolution suffisante pour l'impression. Envoyer seulement des illustrations dont vous détenez les droits.

Illustration



B.2 RESUME CONSOLIDE PUBLIC EN FRANÇAIS

EOL, un dispositif novateur pour écrire et communiquer avec le regard

1. EOL, un enjeu scientifique et technologique

Utiliser les mouvements oculaires pour communiquer et écrire est un enjeu important pour les personnes en situation de handicap, et à long terme, pour les technologies d'interaction homme/machine dans un large spectre d'activités : travail, loisir, arts, éducation, transport, etc. Les mouvements oculaires, parfois les seuls mouvements possibles dans certaines pathologies neurologiques aiguës ou dégénératives, constituent un moyen d'agir sur le monde. Pour des individus en bonne santé, l'usage des mouvements oculaires dans les interactions homme/machine offre un moyen complémentaire de piloter des dispositifs techniques.

Les enjeux et objectifs du projet EOL étaient de :

- développer, adapter et intégrer un dispositif expérimental permettant d'écrire en cursive avec le regard, testé au laboratoire, pour en faire un outil simple à utiliser et de faible coût,
- tester ce dispositif avec des personnes en situation de handicap et déterminer l'intérêt et l'usage qu'elles peuvent en faire,
- développer les outils informatiques améliorant et automatisant les traitements et la reconnaissance des traces oculomotrices générées grâce à ce dispositif.

L'originalité du projet EOL repose sur la possibilité d'apprendre à générer à volonté des mouvements lisses de l'œil (appelés poursuite oculaire), et de produire ainsi des chiffres, lettres, mots ou dessins, que l'on peut enregistrer en utilisant un oculomètre, puis visualiser et traiter pour améliorer le rendu et la reconnaissance automatique des caractères ainsi produits.

2. EOL, comment ça marche ? Quels verrous psychologiques, scientifiques et techniques ?

Le dispositif EOL repose sur une illusion visuelle induisant une perception de mouvement lorsque les yeux bougent de façon lisse et régulière sur un support visuel statique. Le support permettant de générer cette activité oculaire est constitué de

disques distribués au hasard sur un écran, dont le contraste par rapport au fond change à haute fréquence (~300 disques clair puis sombres alternant entre 10 et 30 Hz). Pour des raisons liées à l'architecture fonctionnelle de neurones corticaux sensibles au mouvement visuel, les disques, bien qu'immobiles, paraissent se déplacer dans la même direction que l'œil (ce qui est l'inverse à ce qui se passe dans la vie réelle), offrant ainsi un retour visuel mouvant permettant de bouger les yeux « à volonté ». Le dispositif repose donc sur la maîtrise d'une boucle sensorimotrice : le mouvement des yeux induit une perception illusoire de mouvement visuel, qui fournit en retour un support visuel mobile pour guider les mouvements oculaires, etc.

Pour maîtriser ce dispositif et générer des mouvements oculaires lisses permettant ensuite de dessiner des caractères ou des mots, un entraînement est nécessaire : il faut, i. apprendre à voir l'illusion visuelle, ii. y prêter attention et la sélectionner, iii. utiliser l'illusion pour générer des mouvements lisses de l'œil, et iv. projeter les mouvements appris de l'écriture sur les muscles oculomoteur pour générer des chiffres, lettres, mots, etc.

Le projet EOL visait donc à tester les capacités et la vitesse d'apprentissage de sujets sains ou atteint de sclérose latérale amyotrophique (SLA), et d'optimiser le protocole d'apprentissage en déterminant quels étaient les paramètres à ajuster. En parallèle, un travail d'intégration matérielle et logicielle des différents composants du dispositif a été entrepris, ainsi que le développement d'un outil logiciel de reconnaissance de caractères écrits avec les yeux et de reconnaissance du scripteur.

Résultats majeurs du projet

Au terme du projet EOL, un dispositif fonctionnel comportant un seul ordinateur auquel est connecté un oculomètre a été développé et peut être utilisé sans connaissance ou formation préalable. L'interface utilisateur a été enrichie au delà des objectifs initiaux, avec le développement de « Menus » offrant diverses possibilités d'interactions (sélection de caractères, expression d'émotions, génération de sons, ou menu comportant des icônes permettant à un patient de communiquer son état ou ses besoins, pilotage de dispositifs physiques – effecteurs pilotés avec les yeux).

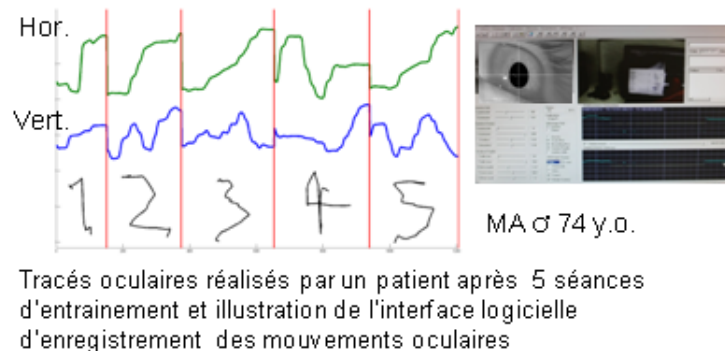
Des sessions d'entraînement (6 à 10 séances de 45 mn) à l'écriture cursive avec le regard ont été conduites sur 3 groupes de sujets – dont un groupe de 12 sujets atteints de SLA. Les résultats obtenus, évalués par la capacité à produire une série de chiffres – de 1 à 9 –, et par le taux de reconnaissance de ces chiffres, lus par des personnes extérieures, font apparaître que les patients et les sujets sains apprenaient à écrire avec le regard d'une façon comparable. Il est apparu des différences entre les différents participants, certains apprenant rapidement à maîtriser le dispositif (environ 1/3), d'autres ayant besoin d'un apprentissage plus long, mais parvenant à générer des mouvements oculaires contrôlés (1/3), et enfin des participants (1/3) qui rencontraient de fortes difficultés, soit pour percevoir l'illusion visuelle, soit pour maîtriser leur oculomotricité, soit pour diriger le plan moteur de l'écriture sur les muscles oculomoteur. Ces résultats indiquent que le dispositif est fonctionnel, mais révèle aussi l'existence de grandes différences interindividuelles dont les origines ne sont pas évidentes : malgré les faibles effectifs des groupes d'apprenants, l'âge, le sexe ou le niveau socio-économique ne semblent pas expliquer ces différences. Pour mieux en comprendre l'origine, il sera nécessaire de conduire des recherches complémentaires et déterminer si ces différences peuvent être aplanies par des adaptations du dispositif ou du protocole d'apprentissage, ou si elles correspondent à des caractéristiques intrinsèques d'un individu (une thèse est en cours sur ce sujet).

Le logiciel de reconnaissance de caractères qui a été développé permet d'obtenir des taux élevés de reconnaissance (avec les alphabets écrits par des sujets entraînés), et aussi du scripteur ayant généré ces caractères. La reconnaissance en temps réel reste à tester, mais le principe a été validé. La traduction de ce programme Matlab en code compact exécutable (C++ par exemple) ou son utilisation à distance (par internet) devront faire l'objet de travaux complémentaires.

Production scientifique et brevets depuis le début du projet

Les publications ont porté principalement sur le logiciel de reconnaissance de caractères et de scripteurs (Diard et al., 2014, XXX et al, 2015). Des présentations de résultats intermédiaires ont été disséminées au travers de plusieurs conférences (Lorenceanu et al., Lenglet et al.). Un article sur les résultats obtenus avec les patients inclus dans l'étude est en cours de rédaction (Lenglet et al., en préparation).

Illustration



Informations factuelles

Le projet EOL est un projet de recherche fondamentale coordonné par Jean Lorenceanu. Il associe Julien Diard (LPNC, Grenoble), Timothée Lenglet et Lucette Lacomblez (Service du Dr. Salachas, APHP, Pitié-Salpêtrière) ainsi que l'entreprise Pertech (Jérôme Baujon, Mulhouse). Le projet a commencé en Janvier 2013 et a duré 34 mois. Il a bénéficié d'une aide ANR de 402701 € pour un coût global de l'ordre de 1137263 €

B.3 RESUME CONSOLIDE PUBLIC EN ANGLAIS

EyeOnLine, a novel tool to write and communicate with the eyes

1. EOL, a scientific and technological challenge

Using eye movements to communicate and to write is important for individuals unable to move or to speak, and in the long term, for human/machine interactions in a variety of activities: work, art, transportation, education, etc. Eye-movements are often relatively spared in neurological diseases, require little energy, and are thus a mean, sometimes the only one, to act on the world. For healthy individuals, using eye-movements in man/machine interactions also offers a mean to drive technical devices.

The goals of the EOL project were:

- to develop, adapt and integrate an experimental device tested in the laboratory to make a simple, versatile and inexpensive tool, allowing to eye-write in cursive,
- to test this device with people facing a handicap to determine the interest and the use they can make of it,
- to develop the software, to improve and simplify the processing and recognition of the oculometric traces generated with this device.

The novelty of the EOL project is to allow voluntarily generating smooth eye-movements (called smooth pursuit), so as to produce digits, letters, words or drawings, recorded using an eye-tracker, and then visualizing and processing these traces to improve their quality and allow automatic character recognition.

2. EOL, how does it work? What psychological, scientific and technical challenges?

The EOL device relies on a visual illusion eliciting a perception of visual motion when the eyes move smoothly over a static display made of visual disks randomly distributed on a screen, whose contrast relative to the background changes at a high frequency (~300 light then dark disks alternating quickly over time (10-30 Hz). For reasons related to the functional structure of cortical neurons sensitive to visual motion, the whole display appear to move in the same direction as the eyes (which is the opposite of what happens

in real life), thus offering a moving visual feedback against which one can move the eyes at will. The device thus implies mastering a sensorimotor loop: Eye-movements elicit an illusory perception of motion, which in turn offers a moving visual substrate to guide eye-movements, etc.

In order to generate eyes-movements depicting digits, characters or words, training is necessary: one must : i. learn to see the visual illusion, ii. pay attention and select it, iii. use the illusion to generate smooth eye-movements, and finally iv. project learned movements of hand-writing on the oculomotor muscles so as to generate digits, letters or words.

The EOL project aimed at testing the capability and learning speed of healthy individuals or patients with amyotrophic lateral sclerosis (ALS), so as to optimize the learning protocol by determining which relevant parameters to adjust. In parallel, the hardware and software integration of the different components of the device was conducted, as well as the development of software capable of recognizing eye-written characters as well as the writer.

At the end of the EOL project, a functional device embedded in a single computer connected to an eye-tracker is available and can be used without prior knowledge or technical training. The user interface has been enriched beyond the initial plan, including « Menus » offering a variety of interacting applications (character selection; emotion expression; sound generation; menus presenting icons allowing patients to express her/his states or needs; driving physical effectors with the eyes).

Training sessions (6 to 10, 45 mn. sessions) to cursive eye-writing were conducted with 3 groups of participants –including a group of 12 ALS patients. The results, evaluated through the capability of producing a series of digits (1 to 9), and by the recognition rate of these digits when read by external individuals, reveal that ALS patients and healthy subjects learned to write with the eyes in a comparable way. Inter-individual differences between participants of all groups were found, some learning quickly to master the device (about 1/3), others needing a longer training, but succeeding in generating well controlled eye-movements (1/3), and lastly, participants (1/3) who faced difficulties, either to perceive the visual illusion, or to master their eye-movements, or to direct the motor plan of hand-writing on their oculomotor muscles.

These results indicate that the device is functional, but also reveal the existence of large inter-individual differences whose origins are not obvious: despite the small number of participants, age, sex or socio-economical variables do not seem to explain these differences. To better understand their origin, to determine whether adapting the device and/or the learning protocol can improve learning, or if these differences reflect intrinsic characteristics (which?) of an individual, additional research is needed (An on-going thesis addresses this topic).

The character recognition software developed gives high recognition rates on eye-written characters (with alphabets written by trained individuals), and of the writer her/himself.

C MEMOIRE SCIENTIFIQUE

Mémoire scientifique confidentiel : NON

C.1 RESUME DU MEMOIRE

EOL, un dispositif novateur pour écrire et communiquer avec le regard

1. EOL, un enjeu scientifique et technologique

Utiliser les mouvements oculaires pour communiquer et écrire est un enjeu important pour les personnes en situation de handicap, et à long terme, pour les technologies d'interaction homme/machine dans un large spectre d'activités : travail, loisir, arts, éducation, transport, etc. Les mouvements oculaires, parfois les seuls épargnés dans certaines pathologies neurologiques aiguës ou dégénératives, constituent un

moyen d'agir sur le monde. Pour des individus en bonne santé, l'usage des mouvements oculaires dans les interactions homme/machine offre un moyen complémentaire de piloter des dispositifs techniques.

Les enjeux et objectifs du projet EOL étaient de :

- développer, adapter et intégrer un dispositif expérimental testé au laboratoire pour en faire un outil simple à utiliser et de faible coût,
- tester ce dispositif avec des personnes en situation de handicap et déterminer l'intérêt et l'usage qu'elles peuvent en faire,
- développer les outils informatiques améliorant et automatisant les traitements et la reconnaissance des traces oculomotrices générées grâce à ce dispositif.

L'originalité du projet EOL repose sur la possibilité d'apprendre à générer à volonté des mouvements lisses de l'œil (appelés poursuite oculaire), et de produire ainsi des chiffres, lettres, mots ou dessins, que l'on peut enregistrer en utilisant un oculomètre, puis visualiser et traiter pour améliorer le rendu et la reconnaissance automatique.

2. EOL, comment ça marche ? Quels verrous psychologiques, scientifiques et techniques ?

Le dispositif EOL repose sur une illusion visuelle induisant une perception de mouvement lorsque les yeux bougent de façon lisse et régulière sur un support visuel statique. Le support permettant de générer cette activité oculaire est constitué de disques distribués au hasard sur un écran, dont le contraste par rapport au fond change à haute fréquence (~300 disques clair puis sombres alternant entre 10 et 30 Hz). Pour des raisons liées à la structure fonctionnelle de neurones corticaux sensibles au mouvement visuel, les disques, bien qu'immobiles, paraissent se déplacer dans la même direction que l'œil (ce qui est l'inverse à ce qui se passe dans la vie réelle), offrant ainsi un retour visuel mouvant permettant de bouger les yeux « à volonté ». Le dispositif repose donc sur la maîtrise d'une boucle sensorimotrice : le mouvement des yeux induit une perception illusoire de mouvement visuel, qui fournit en retour un support visuel mobile pour guider les mouvements oculaires, etc.

Pour maîtriser ce dispositif et générer des mouvements oculaires lisses permettant ensuite de dessiner des caractères ou des mots, un entraînement est nécessaire : il faut, i. apprendre à voir l'illusion visuelle, ii. y prêter attention et la sélectionner, iii. utiliser l'illusion pour générer des mouvements lisses de l'œil, et iv. projeter les mouvements appris de l'écriture sur les muscles oculomoteur pour générer des chiffres, lettres, mots, etc.

Le projet EOL visait donc à tester les capacités et la vitesse d'apprentissage de sujets sains ou atteint de sclérose latérale amyotrophique (SLA), et d'optimiser le protocole d'apprentissage en déterminant quels étaient les paramètres à ajuster. En parallèle, un travail d'intégration matérielle et logicielle des différents composants du dispositif a été entrepris, ainsi que le développement d'un outil logiciel de reconnaissance de caractères écrits avec les yeux et de reconnaissance du scripteur.

EOL, un dispositif novateur pour écrire et communiquer avec le regard

1. EOL, un enjeu scientifique et technologique

Les enjeux et objectifs du projet EOL étaient de :

- développer, adapter et intégrer un dispositif expérimental testé au laboratoire pour en faire un outil simple à utiliser et de faible coût,
- tester ce dispositif avec des personnes en situation de handicap et déterminer l'intérêt et l'usage qu'elles peuvent en faire,
- développer les outils informatiques améliorant et automatisant les traitements et la reconnaissance des traces oculomotrices générées grâce à ce dispositif.

L'originalité du projet EOL repose sur la possibilité d'apprendre à générer à volonté des mouvements lisses de l'œil (appelés poursuite oculaire), et de produire ainsi des chiffres,

lettres, mots ou dessins, que l'on peut enregistrer en utilisant un oculomètre, puis visualiser et traiter pour améliorer le rendu et la reconnaissance automatique.

2. EOL, comment ça marche ? Quels verrous psychologiques, scientifiques et techniques ?

Le dispositif EOL repose sur une illusion visuelle induisant une perception de mouvement lorsque les yeux bougent de façon lisse et régulière sur un support visuel statique, mais papillotant. Le support permettant de générer cette activité oculaire est constitué de disques distribués au hasard sur un écran, dont le contraste par rapport au fond change à haute fréquence (~300 disques clair puis sombres alternant entre 10 et 30 Hz). Pour des raisons liées à la structure fonctionnelle de neurones corticaux sensibles au mouvement visuel, les disques, bien qu'immobiles, paraissent se déplacer dans la même direction que l'œil (ce qui est l'inverse à ce qui se passe dans la vie réelle), offrant ainsi un retour visuel mouvant permettant de bouger les yeux « à volonté ». Le dispositif repose donc sur la maîtrise d'une boucle sensorimotrice : le mouvement des yeux induit une perception illusoire de mouvement visuel, qui fournit en retour un support visuel mobile pour guider les mouvements oculaires, etc.

Pour maîtriser ce dispositif et générer des mouvements oculaires lisses permettant ensuite de dessiner des caractères ou des mots, un entraînement est nécessaire : il faut, i. apprendre à voir l'illusion visuelle, ii. y prêter attention et la sélectionner, iii. utiliser l'illusion pour générer des mouvements lisses de l'œil, et iv. projeter les mouvements appris de l'écriture sur les muscles oculomoteur pour générer des chiffres, lettres, mots, etc.

Le projet EOL visait donc à tester les capacités et la vitesse d'apprentissage de sujets sains ou atteint de sclérose latérale amyotrophique (SLA), et d'optimiser le protocole d'apprentissage en déterminant quels étaient les paramètres à ajuster. En parallèle, un travail d'intégration matérielle et logicielle des différents composants du dispositif a été entrepris, ainsi que le développement d'un outil logiciel de reconnaissance de caractères écrits avec les yeux et de reconnaissance du scripteur.

Au terme du projet EOL, un dispositif fonctionnel comportant un seul ordinateur auquel est connecté un oculomètre a été développé et peut être utilisé sans connaissance ou formation préalable. L'interface utilisateur a été enrichie au delà des objectifs initiaux, avec le développement de « Menus » offrant diverses possibilités d'interactions (sélection de caractères, expression d'émotions, génération de sons, ou menu comportant des icônes permettant à un patient de communiquer son état ou ses besoins, pilotage de dispositifs physiques –effecteurs pilotés avec les yeux).

Des sessions d'entraînement (6 à 10 séances de 45 mn) à l'écriture cursive avec le regard ont été conduites sur 3 groupes de sujets –dont un groupe de 12 sujets atteints de SLA. Les résultats obtenus, évalués par la capacité à produire une série de chiffres – de 1 à 9-, et par le taux de reconnaissance de ces chiffres, lus par des personnes extérieures, font apparaître que les patients et les sujets sains apprenaient à écrire avec le regard d'une façon comparable. Il est apparu des différences entre les différents participants, certains apprenant rapidement à maîtriser le dispositif (environ 1/3), d'autres ayant besoin d'un apprentissage plus long, mais parvenant à générer des mouvements oculaires contrôlés (1/3), et enfin des participants (1/3) qui rencontraient de fortes difficultés, soit pour percevoir l'illusion visuelle, soit pour maîtriser leur oculomotricité, soit pour diriger le plan moteur de l'écriture sur les muscles oculomoteur. Ces résultats indiquent que le dispositif est fonctionnel, mais révèle aussi l'existence de grandes différences interindividuelles dont les origines ne sont pas évidentes : malgré les faibles effectifs des groupes d'apprenants, l'âge, le sexe ou le niveau socio-économique ne semblent pas expliquer ces différences. Pour mieux en comprendre l'origine, il sera nécessaire de conduire des recherches complémentaires et déterminer si ces différences peuvent être aplanies par des adaptations du dispositif ou du protocole d'apprentissage, ou si elles correspondent à des caractéristiques intrinsèques d'un individu (Une thèse est en cours sur ce sujet).

Le logiciel de reconnaissance de caractères qui a été développé permet d'obtenir des taux élevés de reconnaissance d'une part (avec les alphabets écrits par des sujets entraînés), mais aussi du scripteur ayant généré ces caractères. La reconnaissance en temps réel reste à tester, mais le principe a été validé.

C.2 ENJEUX ET PROBLEMATIQUE, ETAT DE L'ART

Les mouvements oculaires constituent une activité motrice permanente de l'organisme, présentant un répertoire de mouvements très variés (saccades, poursuite, mouvements de fixation, modulation pupillaire), qui restent fonctionnels dans la plupart des pathologies neurologiques, et dont l'observation et l'enregistrement au moyen d'oculomètres (ou eye-trackers) sont, au fil d'innovations technologiques constantes, devenus faciles et relativement peu coûteux. Les mouvements oculaires, intrinsèquement liés à la perception visuelle, sont ainsi devenu un reflet aisément accessible et riche d'informations sur les activités cognitives des individus. Le développement de systèmes d'eye-tracking et leur utilisation dans diverses activités humaines connaît un essor important, avec en perspective des dispositifs de communication, d'observation et d'action. Les champs d'applications sont vastes (recherche, jeux vidéo, publicité, etc.), mais la plupart des systèmes actuels visent à aider les personnes en situation de handicap.

Une limitation importante de ces dispositifs est la méconnaissance de l'activité oculomotrice elle-même, et des caractéristiques perceptives, motrices et cognitives, de cette activité. En effet, les mouvements oculaires servent un objectif perceptif (former la meilleure image possible de l'objet d'intérêt sur la rétine) et sont guidés par la vision, et sont, peut être pour cette raison, peu accessibles à la conscience et à l'évaluation, malgré la conviction des individus qu'ils sont maîtres de cette activité. Une seconde limitation est qu'il est difficile de générer des mouvements oculaires sans cibles visuelles : les saccades vers des positions mémorisées sont moins précises, et la génération volontaire de mouvements de poursuite –mouvements lents et régulier de l'œil- sont quasiment impossibles à faire de façon volontaire. Cette dépendance de la génération volontaire de mouvement oculaire à la présence d'une image visuelle constitue une limitation forte pour tous les dispositifs d'eye-tracking, en particulier lorsque l'objectif central n'est pas l'étude de l'oculomotricité elle-même, mais l'utilisation volontaire de mouvements oculaires dans des dispositifs d'interaction.

Le projet EOL s'appuie sur une publication de l'un des partenaires démontrant que certains stimuli visuels statiques peuvent engendrer une illusion de mouvement lorsque les yeux sont en mouvement, et que ce retour visuel de l'action peut être maîtrisé pour générer volontairement des patterns oculomoteurs spécifiques. En particulier, après une phase d'apprentissage, il devient possible de générer des chiffres, des lettres ou des mots avec les yeux. L'enregistrement et la restitution des traces ainsi produites devient alors un moyen de communiquer et d'interagir avec l'environnement.

Le projet EOL visait 3 objectifs :

1. Evaluer la possibilité et l'intérêt pour des patients ayant un usage limité des membres et de la parole d'apprendre et d'utiliser un tel dispositif pour communiquer.
2. Développer un modèle computationnel de reconnaissance de l'écriture oculoscripte permettant la « traduction » de cette écriture en caractères typographiques et/ou la reconnaissance du scripteur.
3. Développer un prototype simple d'utilisation, peu encombrant, et disposant de fonctionnalités nouvelles, pour remplacer le système expérimental complexe utilisé au laboratoire, nécessitant le couplage de 2 ordinateurs et de 3 écrans !!.

Dans le cadre du projet EOL, d'autres développements et projets ont vu le jour, soit au travers de collaboration nouvelles (avec F. Bevilacqua, IRCAM, dans le cadre du projet ANR Legos; avec des services hospitaliers qui n'étaient pas initialement partenaires du projet EOL).

D'autres extensions ont commencé d'être développées, comme la commande de dispositifs externes (commande de ventilateur, de lumières, etc.) , test d'un head-tracker (avec une webcam), ou la sonification des mouvements oculaires.

Au terme de ce projet, les 3 objectifs initialement prévus ont été atteints. Les résultats obtenus sont détaillés ci-après.

C.3 RESULTATS OBTENUS

Nous distinguons ici les résultats en fonction des objectifs et livrables du projet.

C 3.1 APPRENTISSAGE, MAITRISE DU DISPOSITIF EOL, GENERATION DE CHIFFRES OCULO-SCRITS.

La mise au point et l'élaboration d'un protocole d'apprentissage qui optimise les performances a été faite en entraînant 3 groupes de sujets sains avec différents protocoles. Le protocole utilisé avec un groupe de patients atteints de SLA a été élaboré sur la base de ce premier travail.

Sujets sains : Un premier groupe de sujets (N=20) a suivi un entraînement comportant 10 séances d'environ 1 heure chacune. Les différentes tâches proposées visaient d'une part à établir un profil de base de chaque sujet : exemple d'écriture manuscrite, mesure de leur capacité de poursuivre des cibles visibles en mouvement -tâche servant également de mesure de référence pour évaluer la progression des sujets-, évaluations subjectives (questionnaires) de différents paramètres (fatigue, motivation, etc.) et d'autre part des tâches d'apprentissage proprement dites, d'entraînement à la maîtrise de la poursuite oculaire volontaire.

Après des séances « d'initiation » et de familiarisation, il était demandé aux sujets d'écrire les chiffres de 0 à 9 avec les yeux. Pour évaluer la qualité de leur production, nous avons réalisé un test de lecture de ces chiffres par des personnes extérieures (N=18), et n'ayant pas suivi d'entraînement. Le score de reconnaissance de chaque sujet a été utilisé pour mesure du succès de l'apprentissage.

La figure ci-après illustre les tâches effectuées et les résultats obtenus par une femme de 40 ans pour l'ensemble des paramètres considérés, et dont les réalisations oculo-scrites de chiffres étaient reconnues à 90%.

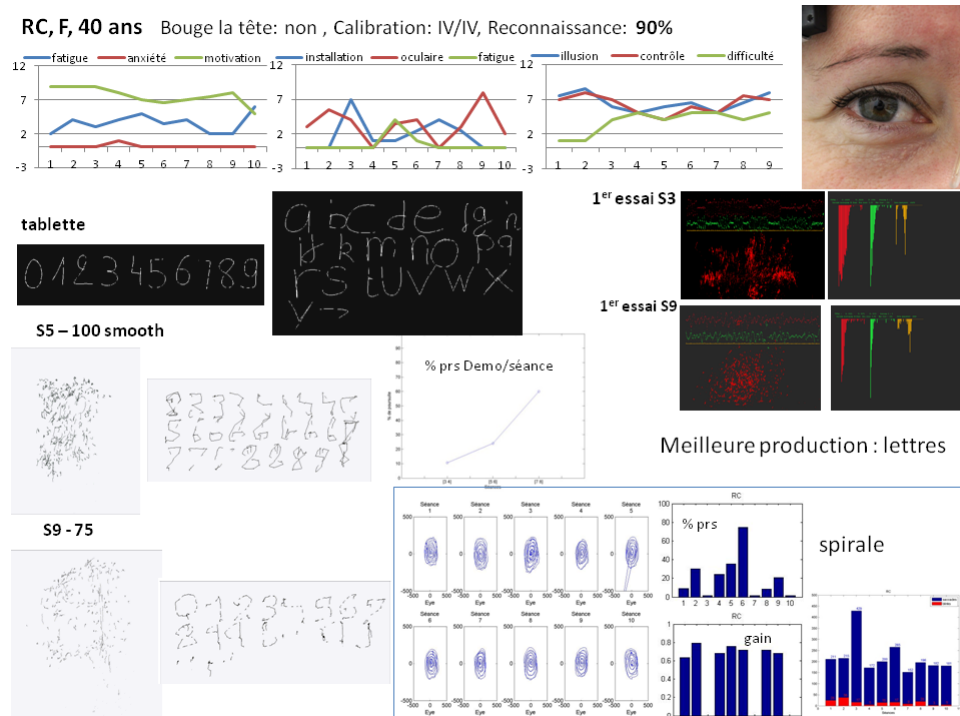


Figure 1 : Illustration des tâches et données correspondantes obtenues par un sujet. *Haut* : résultats des questionnaires au cours des 10 séances ; *milieu*, exemples d'écriture manuscrite ; distribution des saccades pour les séances S3 et S9 ; *Bas/gauche* : chiffres oculo-scrits (séance S5 et S9) ; *bas/droite* : tracés montrant la poursuite d'une cible visible et l'évolution de la qualité de la poursuite au fil des sessions. Les résultats relatifs à la reconnaissance de chiffres sont présentés figure 2.

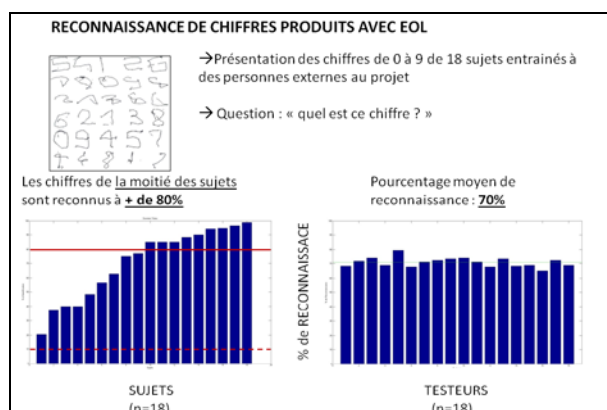


Figure 2 : Résultats du test de lisibilité de chiffres oculo-scrits après 10 séances d'entraînement. Comme on le voit sur cette figure, le pourcentage de chiffres reconnus varie beaucoup d'un sujet à l'autre. Les chiffres de la moitié des sujets sont reconnus à 80 % (noter que le niveau de la chance est de 10%). Les résultats dépendent peu des testeurs. Comme on peut le constater, il existe d'importantes différences interindividuelles.

Ce protocole, amélioré à la suite des tests sur les sujets sains, a été utilisé pour l'entraînement de patients atteints de SLA (N=12). Pour des raisons liées au recrutement de ces patients (critères d'inclusion), aux visites médicales associées, et au besoin de mieux cerner leur état cognitif, et la possibilité (et le coût) de les faire revenir plusieurs fois l'entraînement n'a comporté que 6 sessions, réalisées sur le site de la Pitié-Salpêtrière. De plus, des tests neuropsychologiques complémentaires ont été ajoutés au protocole de test, en particulier pour la session 1, dite d'inclusion. Les patients n'ont donc été spécifiquement entraînés au dispositif EOL que pendant 5 sessions d'une heure environ. Dans l'ensemble, les résultats obtenus par les patients sont très comparables à ceux des sujets sains. Les comparaisons quantitatives sont cependant difficiles, à la fois parce que le nombre de sujet est faible, qu'ils ne sont pas appariés, et parce que le lieu de test et le déroulement des sessions n'a pas été strictement le même. Malgré ces limitations, le pattern général est le même : des patients ayant pu apprendre à écrire des chiffres avec les yeux, des patients ayant rencontré des difficultés, mais réalisant des progrès constants, des patients n'ayant pas ou peu progressé. Chacun de ces « groupes » représente 30% des sujets, répartition semblable à celle observée pour les sujets sains. Le taux de reconnaissance des chiffres écrits par les patients, réalisé par un groupe de testeurs (N=20), a une distribution similaire à celle de sujets sains (appariés dans la mesure du possible, les tests chez les sujets sains ayant été réalisés avant l'étude avec des patients).

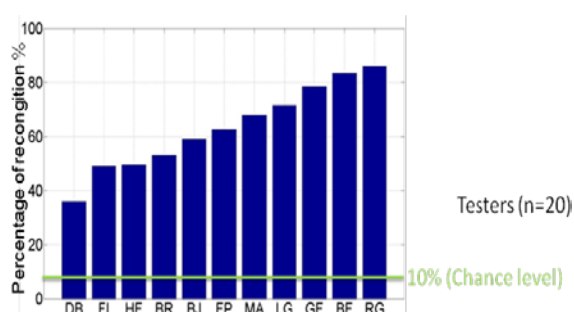


Figure 3 : Résultats du test de lisibilité de chiffres oculo-scrits par des patients SLA après 6 séances d'entraînement. Comme on le voit sur cette figure, le pourcentage de chiffres reconnus varie beaucoup d'un sujet à l'autre. Les chiffres de la moitié des sujets sont reconnus à 60 % (noter que le niveau de la chance est de 10%). Les résultats ne dépendent pas des testeurs (N=20).

La performance des patients SLA est intéressante et encourageante, car elle indique :

1. Que l'oculomotricité reste fonctionnelle malgré la progression de la maladie ;
2. Que ces patients peuvent apprendre une nouvelle activité motrice, utilisant les mouvements oculaires, et générer de façon volontaire des mouvements de poursuite oculaire lisse.

3. Qu'avec un entraînement complémentaire et une pratique régulière, des patients SLA pourraient utiliser le dispositif EOL pour une communication simple.

Il faut cependant noter les limitations du dispositif. Bien qu'au cours de chaque session, un temps important ait été consacré au recueil de données et questionnaires sans rapport avec l'activité d'écriture avec les yeux, l'entraînement reste long et parfois décourageant, car les progrès peuvent tarder à se manifester. Les différences interindividuelles, observées chez les patients comme chez les sujets sains, sont un obstacle à une généralisation de l'usage du dispositif. Les résultats de cette étude, en cours de rédaction, ont fait l'objet de présentations dans des conférences.

Plusieurs pistes sont envisagées pour faciliter l'apprentissage et/ou détecter rapidement si une personne apprendra vite et facilement. Parmi ces pistes de recherche, en cours de tests, signalons :

1. Utiliser un test simple et rapide pour déterminer les aptitudes à l'écriture oculo-scrite d'un individu,
2. Donner un retour direct, visuel et sonore, des mouvements oculaires
3. Adapter le stimulus aux préférences et à la sensibilité de chaque individu
4. Développer un système basé sur les mouvements de la tête (utilisant une simple Webcam).
5. Associer des dispositifs plus classiques d'écriture par sélection de lettre et de menus préfigurés au dispositif d'écriture oculo-scrite. Un prototype d'une interface multi-usages est déjà disponible.

C 3.2 MODELE BAYESIEN DE RECONNAISSANCE DE CARACTERES ET DE SCRIPTEURS.

Les algorithmes d'analyse automatique des traces, utilisant le modèle bayésien développé à Grenoble par M. Julien Diard, ont été adaptés et testés sur des alphabets écrits avec les yeux fournis par l'équipe de Jean Lorenceau. Ces alphabets écrits par des sujets entraînés (N=3, 10 alphabets par sujets) ont permis de montrer que la reconnaissance automatique était fiable (voir figure ci-après) et permettait également de reconnaître le scripteur qui avait écrit ces alphabets.

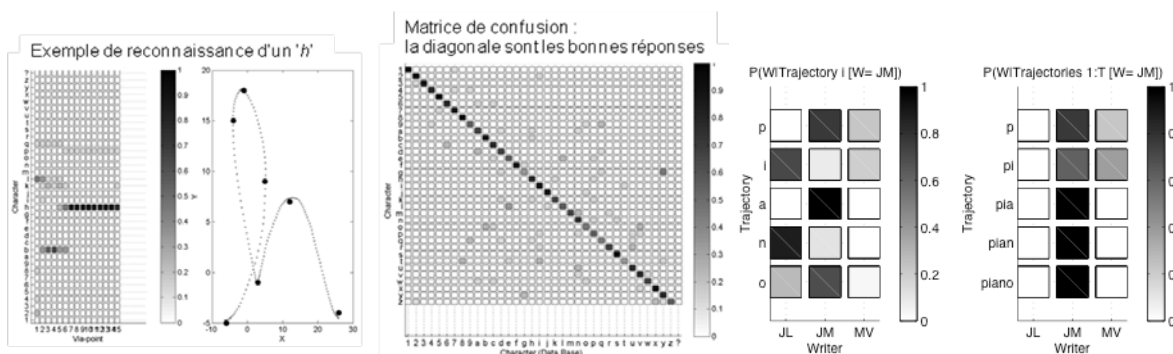


Figure 4 : *gauche* : illustration du logiciel de reconnaissance d'une lettre 'h', après lissage de la trace oculomotrice, en fonction du nombre de points d'inflexion caractéristiques de cette lettre ; *milieu* : matrice de confusion indiquant les performances de reconnaissances du logiciel : la diagonale de cette matrice correspond aux bonnes réponses. *Droite* : reconnaissance du scripteur ayant produit des séquences de lettres.

Ce travail a fait l'objet d'une publication dans « Frontiers in Psychology » en 2013. Ce travail a été repris et poursuivi par Mme Myriam Chanceaux (post-doc 12 mois, 2013-2014), qui a proposé une extension du modèle de reconnaissance de lettres pour la reconnaissance du scripteur. Ce travail permet l'étude de la stabilité et robustesse du signal d'écriture avec les yeux. Il a été publié dans la conférence de la Cognitive Science Society (2014). Enfin, Mme Svetlana Meyer (stage de M2 Sciences Cognitives, 2014-2015) a mené une étude préliminaire sur l'équivalence motrice, en comparant les caractéristiques morphologiques, topologiques et cinétiques des traces écrites avec les yeux ou avec d'autres effecteurs.

Ce travail pourra être étendu dans 2 directions :

1. Développement d'un logiciel indépendant de l'environnement de développement qui a été utilisé (MatLab), travail qu'il n'a pu être entrepris dans le cadre du projet EOL.
2. Extension de la reconnaissance de caractère isolés à des bigrammes, trigrammes (mots courts). Un premier développement dans cette perspective a été entrepris, mais doit encore être poursuivi.
3. Utilisation du logiciel de reconnaissance à distance (par connexion Internet), qui serait alors un logiciel serveur, recevant des traces oculomotrices et renvoyant des caractères. Ceci éviterait le déploiement d'un système complexe sur des dispositifs isolés. Ce projet n'a pas encore pu être développé.

C 3.3 DEVELOPPEMENT D'UN PROTOTYPE SIMPLE, INTEGRANT LES DIFFERENTES FONCTIONS DU DISPOSITIF EOL

Au début du projet, le dispositif EOL comportait 2 ordinateurs (un pour la stimulation visuelle, et un pour les enregistrements oculaires), associés à 3 écrans (2 écrans de visualisation, un écran de stimulation). L'encombrement et la gestion simultanée de ces deux dispositifs, reliés par une connexion internet, constituaient un obstacle sérieux à toute possibilité de distribution du dispositif EOL dans des contextes d'utilisation autres que celui du laboratoire. De plus, les performances intrinsèques de l'oculomètre, fourni et développé par le partenaire Pertech, étaient insuffisantes pour l'obtention de bons résultats. Enfin, cette diversité des matériels était associée à une diversité logicielle, elle aussi incompatible avec des développements complémentaires et une maintenance logicielle avec des utilisateurs non-spécialistes.

L'un des objectifs du projet était donc d'améliorer les performances de l'oculomètre et d'intégrer et simplifier le dispositif, avec en perspective le portage du dispositif sur une plateforme unique (un ordinateur portable), si possible peu coûteuse.

Sur le premier point, les efforts et la contribution du partenaire Pertech ont été précieux, et ont permis d'améliorer la fréquence d'acquisition des données oculométriques (passant de 60 à 90 Hz). De plus, une version plus ergonomique avec un design soigné a été développée et a pu être utilisée avec le groupe de patients SLA.

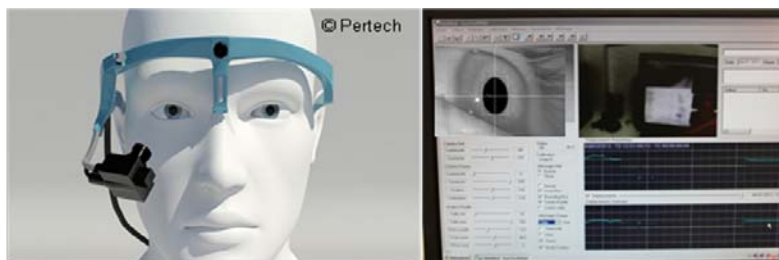


Figure 5 : Dispositif utilisé avec les patients SLA : *gauche* : oculomètre porté ; *droite* : écran de contrôle de l'activité oculomotrice.

Le deuxième objectif, intégrer l'ensemble du dispositif sur une seule plateforme, était plus ambitieux, en particulier parce qu'il demandait des réunions fréquentes de 2 partenaires, déjà très sollicités par leur activités respectives, et le recrutement d'un développeur dédié à cette tâche. A ces difficultés initiales sont venues s'ajouter des difficultés conjoncturelles au sein de l'entreprise Pertech, qui ont absorbé une grande partie des ressources internes qui auraient été nécessaires aux développements prévus dans le projet.

Dans cette situation, d'autres solutions ont été envisagées pour atteindre les objectifs fixés initialement. Pour cela, il a été nécessaire de se tourner vers un autre fournisseur d'oculomètre, et d'implémenter une solution logicielle qui corresponde aux objectifs. Ceci a pu être fait par le partenaire porteur du projet. Au terme du contrat, un dispositif comportant un oculomètre connecté par USB à un ordinateur portable d'entrée de gamme, dans une configuration double ou mono écran, a pu être développée et testée.



Figure 6 : Interface de communication oeil/machine constituée d'un ordinateur portable gérant l'interaction (à droite sur les photos), d'un écran de communication affichant des items réactifs (à gauche sur les photos), d'un oculomètre déporté (sous l'écran). Ce dispositif, testé au laboratoire et dans un service hospitalier de la Pitié-Salpêtrière, offre plusieurs menus d'interaction (*photo de gauche*), dont le dispositif EOL d'écriture avec les yeux (*photo de droite*).

De nouvelles fonctionnalités ont été ajoutées au dispositif EOL d'écriture oculo-scrite pour diversifier les possibilités d'interactions, comme le développement de menus interactifs (Figure 6), permettant de communiquer des besoins simples (indiquer son état de santé allumer une lampe ou la télévision, indiquer des difficultés respiratoires ou d'inconfort, etc.). Un menu d'interaction, conçu avec les infirmières du service de réanimation de l'hôpital Pitié-Salpêtrière (Pr. Similowski) a été développé et présente des items habituellement utilisés dans la communication orale. Ce dispositif, fonctionnel, a été présenté au service de neurologie de l'hôpital Pitié-Salpêtrière. Un dispositif mobile (table roulante) a récemment été installé dans ce service pour un patient SLA qui avait suivi l'entraînement EOL, et dont l'état s'est fortement aggravé. Les premiers tests indiquent que le dispositif apporte au patient des moyens nouveaux et complémentaires de communication.

C.4 EXPLOITATION DES RESULTATS

Vu la quantité de données recueillies, les résultats obtenus dans le cadre du projet EOL n'ont pu encore faire l'objet d'une analyse complète et détaillée. Ces analyses sont en cours, avec en perspective la publication de 2 articles dans des revues à comité de lecture, l'une dans une revue médicale portant sur les données des patients SLA, l'autre dans une revue plus généraliste, portant sur l'apprentissage de l'écriture oculo-scrite. Un premier constat global de cette étude est la découverte d'une grande variabilité interindividuelle dans la maîtrise et génération des mouvements oculaires, et de la poursuite en particulier. Ces différences sont manifestes aussi bien dans des tâches de poursuites de cibles visibles que dans la génération endogène de poursuite oculaire avec le dispositif EOL. Ces différences sont intéressantes et doivent être étudiées pour elles-mêmes, car cette variabilité des comportements oculomoteurs reflètent des adaptations différentes à l'environnement dans la vie quotidienne. L'analyse des meta-données qui ont été collectées (âge, sexe, fatigue, anxiété, activités professionnelles, etc.) n'a pas permis de dégager un facteur déterminant, corrélé aux performances observées, bien que les faibles effectifs des groupes de sujets ne permettent pas de conclusion définitive. Deux pistes de recherches sont envisagées pour expliquer ces différences (Un financement de thèse a été obtenu pour ces recherches): l'une concerne la sensibilité visuelle des sujets au mouvement et des mesures oculomotrices dans un cadre expérimental restreint et bien contrôlé, ne visant pas directement l'apprentissage et la maîtrise du dispositif EOL. L'autre vise à améliorer et augmenter les retours sensoriels de l'activité oculomotrice pendant l'apprentissage, de façon à donner aux sujets des indices objectifs de leur activité oculomotrice. Sur ce dernier point, la collaboration établie avec F. Bevilacqua (IRCAM), responsable de l'ANR Legos, a permis un premier travail, en cours de publication, sur le retour auditif de l'activité oculomotrice.

D'autres perspectives ont été dégagées au cours du projet et vise à mettre à disposition de service cliniques (service de neurologie, de réanimation, etc.) le dispositif intégré qui a été développé, pour permettre une communication œil/machine à des patients et/ou pour aider à mieux prendre en compte les comportements oculomoteurs dans des perspectives de remédiation ou d'apprentissage.

Des contacts ont également été établis avec des industriels pour développer des interfaces basées sur l'activité oculomotrice.

C.5 DISCUSSION

Dans l'ensemble, tous les objectifs initiaux du projet ont été réalisés : tests du dispositif EOL avec des sujets sains et des patients SLA, développement d'un logiciel de reconnaissance automatique de l'écriture, intégration matérielle et logicielle du dispositif (bien que celle-ci n'ait pu être faite avec le partenaire Pertech, pour des raisons explicitées ci-dessus). Le dispositif actuel, dont le coût global n'excède pas 1500 €, peut être mis à disposition de personnes non-expertes, ce qui a été fait à deux occasions.

Les limitations de l'étude tiennent en grande partie à une exploitation insuffisante des résultats, très nombreux, mais dont l'analyse est rendue plus complexe qu'anticipé, du fait de la très grande variabilité intra et interindividuelle observée. Le nombre limité de sujets, du nombre de séances d'entraînement, et l'impossibilité d'adapter et modifier les caractéristiques du dispositif en cours d'étude n'a pas permis de tirer des conclusions définitives sur l'intérêt et l'utilisation régulière du dispositif.

Les différences interindividuelles observées sont à la fois un obstacle à la diffusion du dispositif, mais ouvrent des perspectives de recherche nouvelles : quelles sont les origines de ces différences ? L'apprentissage oculomoteur avec le dispositif est-il de nature à améliorer le contrôle oculomoteur ? Quelles seraient les conséquences de ces améliorations, en particulier pour des populations présentant des troubles oculomoteurs (chez l'enfant et la personne âgée en particulier) ?

Au cours du projet, d'autres perspectives d'applications sont apparues, parfois concrétisées par des collaborations nouvelles.

Plus généralement, on observe que les dispositifs d'interaction œil/machine se développent rapidement dans plusieurs secteurs (transport, sécurité, santé, jeux, éducation, etc.), soulignant l'intérêt de poursuivre les recherches fondamentales et applicatives basées sur cette technologie. Dans l'ensemble, le déroulement du projet EOL a été satisfaisant, malgré des longueurs et lourdeurs administratives (obtention du CPP pour l'étude chez les patients) et des difficultés de fonctionnement interne du partenaire industriel. Les perspectives de développement et de recherches sont nombreuses, bien que l'obtention des moyens humains et financiers de conduire ces projets reste difficile.

C.6 CONCLUSIONS

Au terme du projet EOL, le constat d'ensemble est très positif : tous les engagements et objectifs ont été tenus. Des réunions régulières ont été organisées avec tous les partenaires et la coordination et le travail en équipe ont porté leurs fruits. Les résultats obtenus sont très encourageant, bien que les grandes différences entre les performances et capacités des différentes personnes testées demandent à être mieux comprises. Les hypothèses sur l'origine de ces différences sont nombreuses et de nature différente : sensorielles et physiologiques (différences de traitements de mouvements illusoires, des traitements temporels, de l'oculomotricité), psychologiques (profils cognitifs, origines socioculturelles), cognitives (motivation, attention, plasticité cognitive). L'approche de ces questions est difficile car de larges effectifs doivent être mobilisés pour disposer d'échantillons représentatifs, et le fait qu'un apprentissage soit nécessaires (et donc qu'un sujet soit suivi dans le temps) rendent ces études difficiles et coûteuses.

Le projet EOL a permis d'établir de nouveaux partenariats et projets, de recruter de nouveaux doctorants pour approfondir les recherches, et de proposer un dispositif fonctionnel susceptible d'améliorer la communication chez des patients atteints de pathologies neurodégénératives.

C.7 REFERENCES

Lorencean, J. (2012). Cursive writing with smooth pursuit eye movements. *Current Biology*, Volume 22, Issue 16, 21 August 2012, Pages 1506–1509

Gilet, E., Diard, J., & Bessière, P. (2011). Bayesian Action–Perception computational model: interaction of production and recognition of cursive letters. *PloS one*, 6(6), e20387.

Diard, J., Rynik, V., & Lorencean, J. (2013). A Bayesian computational model for online character recognition and disability assessment during cursive eye writing. *Frontiers in psychology*, 4.

D LISTE DES LIVRABLES

Date de livraison	N°	Titre	Nature (rapport, logiciel, prototype, données, ...)	Partenaires (souligner le responsable)	Commentaires
Juin 2013	1	Eye On Line	Site Internet	Lorencean	
Décembre 2014	2	Camera Haute Fréquence	Matériel	Baujon	
2013	3	CPP	Protocole et CPP	Lenglet & Lacomblez	
2014-2015	4	Publications	Rapports Articles	Lorencean, Diard	
2016	5	Rapport Final	Rapport	Lorencean	

E IMPACT DU PROJET

E.1 INDICATEURS D'IMPACT

Nombre de publications et de communications (à détailler en E.2)

		Publications multipartenaires	Publications monopartenaires
International	Revue à comité de lecture	2	0
	Ouvrages ou chapitres d'ouvrage	0	0
	Communications (conférence)	6	1
France	Revue à comité de lecture	0	0
	Ouvrages ou chapitres d'ouvrage	0	0
	Communications (conférence)	1	0
Actions de diffusion	Articles vulgarisation	0	0
	Conférences vulgarisation	3	0
	Autres	0	Emissions télévisuelles (4)

Autres valorisations scientifiques (à détailler en E.3)

	Nombre, années et commentaires (valorisations avérées ou probables)
Brevets internationaux obtenus	0
Brevet internationaux en cours d'obtention	1
Brevets nationaux obtenus	0
Brevet nationaux en cours d'obtention	0
Licences d'exploitation (obtention / cession)	0
Créations d'entreprises ou essaimage	0
Nouveaux projets collaboratifs	3 (Ircam, ANR Legos ; Institut de la vision ; EDF)
Colloques scientifiques	5
Autres (préciser)	

E.2 LISTE DES PUBLICATIONS ET COMMUNICATIONS

Diard J, Rynik V and Lorenceau J (2013) A Bayesian computational model for online character recognition and disability assessment during cursive eye writing. Front. Psychol. 4:843. doi: 10.3389/fpsyg.2013.00843

Chanceaux, M., Rynik, V., Lorenceau, J., & Diard, J. (2014). Writer recognition in cursive eye writing: a Bayesian model. In 36th Annual Conference of the Cognitive Science Society.

Boyer, E., Portron, A., Bevilacqua, F., Lorenceau, J. (2016). Sonification of eye movements: an exploratory study towards free smooth pursuit learning with interactive auditory feedback. (Displays, en revision)

Portron A. & Lorenceau (2016). Sustained smooth pursuit eye movements with eye-induced reverse-phi motion. en preparation pour Journal Of Vision.

Lenglet T, Veyrat-Masson M, Lorenceau J, Lacomblez L, Salachas F (2014). A Pilot Study Assessing A New Eye-Writing Device Allowing Cursive Writing With Smooth Pursuit Eye Movements In Subjects With ALS. 25th colloque de la "Motor Neurone Disease Association"

Portron, A., & Lorenceau, J. (2015). Effect of mask characteristics on pursuit eye movement during target disappearance. In PERCEPTION (Vol. 44, pp. 132-132).

Portron, A. Lorenceau J., (2016). Maintaining smooth pursuit after target disappearance with eye-induced reverse-phi motion (Vision Science Society, sous presse).

Lenglet, T. Veyrat-Masson, M. Mirault, J. Amador, MdM, Bruneteau, G . Leforestier, N. Pradat, PF, Salachas, F. Lorenceau J. & Lacomblez, L. (2015). Ecrire avec les yeux est faisable chez les patients atteints de SLA, Journées de coordination nationale des centres SLA, 17-18 Septembre 2015

Lenglet T, Veyrat-Masson M, Mirault J, Guignebert A, Amador MdM, Bruneteau G, Leforestier N, Pradat PF, Salachas F, Lacomblez L & Lorenceau J. Cursive eye-writing with eye on line device (EOL) is feasible in subjects with ALS: A pilot study. 2nd congress of the European Academy of Neurology, Copenhagen, Denmark, May 28-31 2016

Lorencean J (2015) : Writing and drawing with eye-movements. Journée "Coglter, Toulouse.

da Eira, M. S. (2014). Eye Communication System for Nonspeaking Patients (Doctoral dissertation, Universidade do Porto).

Boyer, E. (2015). Continuous auditory feedback for sensorimotor learning (Doctoral dissertation, Université Pierre et Marie Curie-Paris VI).

Liste des éléments de valorisation

Logiciels :

BAP Eol: modèle bayésien computationnel de reconnaissance de traces oculo-scriptes et de scripteurs

Jeda : logiciel comprenant les modules suivants:

EOLmenus : Logiciel versatile d'édition de menus pour la communication par le regard

EOLHead : Logiciel d'écriture et de communication par sélection d'items utilisant les mouvements de la tête et une Webcam

EOL Harduino : logiciel de communication et de contrôle de dispositifs électroniques programmables (Arduino) pour le contrôle d'effecteurs externes (lampes, ventilateurs, etc..) avec le regard

EOLsound : logiciel de production de sons pilotés par le regard, permettant un auto-contrôle de l'activité oculomotrice

Projets :

Partenariat avec Frédéric Bevilacqua (IRCAM, ANR Legos) : Sonification des mouvements oculaires (Thèse E. Boyer)

Partenariat avec Pierre Pouget (CNRS, ICM) : Etude de la poursuite lisse chez le singe éveillé : imagerie par ultrason des aires visuo-motrice (SEF-FEF).

En préparation : avec EDF (S. Ploix) et R. Benosman (Institut de la Vision UPMC) : Biométrie oculomotrice.

Services : Partenariat Timothée Lenglet (APHP) : Test d'une utilisation d'un dispositif de communication par le regard en milieu hospitalier

Site Internet EOL : <http://eol.scicog.fr/accueil/accueil.html>

E.3 BILAN ET SUIVI DES PERSONNELS RECRUTES EN CDD (HORS STAGIAIRES)

Identification				Avant le recrutement sur le projet			Recrutement sur le projet				Après le projet				
Nom et prénom	Sexe H/F	Adresse email (1)	Date des dernières nouvelles	Dernier diplôme obtenu au moment du recrutement	Lieu d'études (France, UE, hors UE)	Expérience prof. Antérieure, y compris post-docs (ans)	Partenaire ayant embauché la personne	Poste dans le projet (2)	Durée missions (mois) (3)	Date de fin de mission sur le projet	Devenir professionnel (4)	Type d'employeur (5)	Type d'emploi (6)	Lien au projet ANR (7)	Valorisation expérience (8)
Mirault Jonathan	H	jonathan.mirault@gmail.com	Janvier 2016	Master 2	France	1	Lorenceau	Ingénieur	24	Juin 2015	Recherche Emploi			Partenaire	Oui
Veyrat - Masson	F	marie.veyratmasson@gmail.com	Janvier 2016	Kinésithérapeute, D.E.2006	France	5	Lorenceau 12 mois Salachas 18 mois	Ingénieur	28	Mars 2015	Recherche emploi		Kinésithérapeute	Partenaire	Oui
Myriam Chancieux	F	myriam.chanceux@upmf-grenoble.fr	2014	Doctorante	France	0	Diard	Post-doc	12	Décembre 2014	Post-doc	Université	Recherche	Partenaire	Oui
Vincent Rynik	M	vincent.rynik@gmail.com		Centrale Lyon	France	0	Diard	Master 2	3	Octobre 2013	Thèse Japon	Université	Recherche	Partenaire	?
Svetlana Meyer	F	svtln.meyer@gmail.com	Janvier 2016	3ème année ENSC	France	0	Diard	Master	6	Juin 2015	Thèse LPN C	Université	Recherche	Partenaire	Oui