

L'oculomètre comme support d'évaluation et d'interaction

*René CHALON, Bertrand DAVID, Magali BELDAME,
Nadji CHERIEF, Julien LASALLE, Johan MOINARD*

ICTT, Ecole Centrale de Lyon
36, avenue Guy de Collongue, BP 163
F-69131 Ecully Cedex, France

{Rene.Chalon, Bertrand.David, Magali.Beldame}@ec-lyon.fr
{Nadji.Cherief, Julien.Lasalle, Johan.Moinard}@ecl2002.ec-lyon.fr

RESUME

Dans cette vidéo nous expliquons d'abord les différents principes de fonctionnement de l'oculomètre puis nous montrons un de ces dispositifs en action. Nous montrons ses caractéristiques et discutons ses capacités intrinsèques pour en déduire des possibilités d'utilisation. Nous passons ensuite en revue deux catégories d'utilisation de l'oculomètre. Une première, passive, permet de saisir des mouvements des yeux et peut apporter une contribution dans l'évaluation d'IHM et plus particulièrement des sites WEB ou dans l'étude de processus d'observation des images et des photos et de leur caractérisation visuelle. Une seconde, active, utilise le regard comme moyen d'interaction. Des exemples de ses utilisations sont alors présentés. Un bilan rapide de ces expérimentations et des pistes de nouvelles investigations concluent cette présentation.

MOTS CLES : oculomètre, eye tracking, IHM, support d'évaluation, site Web, support d'interaction.

INTRODUCTION

Qui ne s'est jamais posé la question suivante : comment l'œil parcourt-il une page, une fenêtre, un écran ou une surface de visualisation ? Certes, des études existent, en particulier pour la lecture. Différents modèles ont été proposés et des règles ergonomiques formulées, conduisant à situer des informations importantes à tel ou tel endroit. Il semble, en effet, souhaitable de prendre ces informations en considération lors de la conception de l'interface. Toutefois, en ce qui concerne en particulier des surfaces de visualisation (écran, mur de projection,...), il paraît utile de vérifier empiriquement ces règles et éventuellement de constater leur évolution. Pour cela nous avons acquis un oculomètre (ou dispositif d'eye tracking). Nous avons d'abord étudié et comparé différentes techniques, puis acquis le dispositif Quickglance avec lequel nous avons mené un certain nombre d'expériences que nous relatons dans ce texte et surtout dans la vidéo. Après l'explication des différents principes de fonctionnement de l'oculomètre, nous montrons le dispositif choisi en action. Nous examinons ses caractéristiques et discutons ses capacités intrinsèques pour en déduire les possibilités d'utilisation. Nous passons ensuite en revue deux catégories d'utilisation d'eye tracking. Une première, pas-

sive, se limitant à capturer des mouvements des yeux, puis une seconde, active, utilisant le regard comme moyen d'interaction. Des exemples de ses deux approches sont présentés. Un bilan rapide de ces expérimentations et des pistes de nouvelles investigations concluent cette présentation

PRINCIPES D'EYE TRACKING

L'oculomètre est un dispositif qui permet de suivre les mouvements de l'œil et de connaître la localisation du regard, en relatif ou en absolu. La principale difficulté technique est de repérer de manière suffisamment fine la position et les mouvements de l'œil. Pour cela, il existe à l'heure actuelle trois familles de méthodes différentes.

La première méthode, dite par **traitement d'image**, est la plus intuitive : une caméra filme le visage de l'utilisateur, et un logiciel spécialisé dans la reconnaissance visuelle se charge d'identifier l'œil. Cette méthode présente l'avantage de ne nécessiter que le minimum d'équipement : une simple caméra et un ordinateur suffisent. Par contre, le logiciel utilisé nécessite un ordinateur de grande puissance. De plus, les résultats obtenus avec ce type d'appareillage sont d'une précision relativement médiocre, du fait d'une grande sensibilité aux perturbations.

La seconde méthode, dite par **réflexion cornéenne**, s'appuie sur le même principe que la méthode précédente à une différence près : cette fois, on éclaire l'œil de l'utilisateur avec des sources de lumière infrarouge et on le filme avec une caméra infrarouge. On observe alors deux grandes familles de reflets sur l'œil : des reflets fixes dus à la réflexion des infrarouges sur la cornée, et des reflets mobiles dus à la réflexion des infrarouges sur la pupille. La position relative des deux familles de reflets donne l'information sur la position de l'œil. Cette méthode requiert un équipement légèrement plus conséquent que la méthode précédente, c'est-à-dire une caméra plus un ou deux projecteurs d'infrarouges, et a comme avantage d'être beaucoup plus précise et moins sensible aux perturbations extérieures, tout en étant moins gourmande en puissance de calcul.

Enfin, la dernière famille de méthodes est basée sur l'utilisation de **lentilles magnétiques** portées par l'utilisateur. Chaque mouvement de l'œil entraîne alors des modifications du champ magnétique extérieur. Ces variations sont enregistrées par des capteurs disposés de part et d'autre des yeux de l'utilisateur, et permettent donc de définir précisément la position et les mouvements des yeux de l'utilisateur. Cette méthode a pour avantage d'être extrêmement précise. Par contre, l'équipement requis est particulièrement coûteux, et l'utilisation de tels appareillages pourrait même être dangereuse à cause des lentilles magnétiques.

Indépendamment des trois familles de méthodes exposées précédemment, il existe deux formes de dispositifs : embarqués ou fixes. La **forme embarquée** est constituée d'un casque ou de lunettes portant les capteurs. De ce fait, le système n'est pas perturbé par les mouvements de l'utilisateur, et peut être utilisé dans tout type d'environnement. Par opposition, la **forme fixe** est basée sur des capteurs positionnés sur les bords du champ de vision de l'utilisateur, et limite donc l'utilisation à un environnement donné, par exemple un écran d'ordinateur, un tableau blanc, etc. Le passage à un autre environnement nécessite donc de déplacer entièrement le système. De plus, les performances de ce type de dispositif sont sensibles aux mouvements de l'utilisateur, qui sont à limiter autant que possible. Par contre, du point de vue de l'utilisateur, ce type de système permet de ne pas avoir à s'encombrer d'un casque.

APPAREIL UTILISÉ

Nous avons opté pour un oculomètre fixe appelé Quick-glance basé sur le principe de réflexion cornéenne. Il s'agit d'un système d'utilisation simple, peu intrusif et d'une précision adaptée à une étude générale d'eye-tracking. En effet, il n'y a aucun instrument porté directement par l'utilisateur, ce qui constitue à la fois un avantage, car celui-ci ne se sent pas instrumenté et un inconvénient, car le champ de visé est relativement faible (la tête doit rester immobile pendant l'expérimentation). Le dispositif comprend deux émetteurs infrarouges articulés et une caméra infrarouge à orienter sur l'œil directeur de l'utilisateur. Un logiciel d'analyse des signaux captés par la caméra, intégrant un système de calibrage, fournit des informations spatio-temporelles sur les mouvements du regard.

Etudes préalables

Un ensemble d'études préalables avait fondamentalement pour but d'apprécier les capacités de l'appareil, en particulier sa précision, sa fréquence de saisie et son utilisabilité générale. Le bilan est le suivant : les tests réalisés ont montré que les meilleurs résultats sont obtenus avec une configuration du dispositif saisissant vingt points par seconde et travaillant sur sept points consécutifs pour lisser les points acquis. C'est la configuration par défaut du

système. En ce qui concerne la précision, les expérimentations ont montré que 90 % des points sont situés à au plus 0,5 cm du point visé. Ceci est davantage lié aux difficultés de l'œil humain à fixer un point précis qu'aux erreurs du système. La précision est donc d'environ 1 cm, soit un angle d'un degré pour un utilisateur situé à 50 cm de l'écran. Cette valeur a été mise en évidence non seulement dans le cas d'un bon contraste, mais également dans celui d'un contraste médiocre. Cette précision semble raisonnable, car elle permet de découper l'écran de 17 pouces à 30x22 carreaux de 1 cm² ce qui semble suffisant pour les études que nous voulons mener.

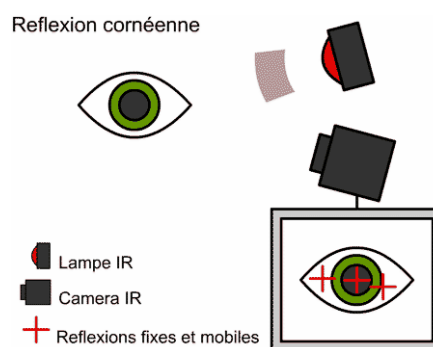


Figure 1 : Principe d'eye tracking basé sur la réflexion cornéenne

EXPÉRIMENTATIONS

Suite à ces validations, des expérimentations ont été menées suivant deux principes différents. Dans le premier cas, il s'agissait d'utiliser l'oculomètre de façon passive, c'est-à-dire suivre le regard et restituer le trajet de l'œil sur la surface observée pour en tirer des conclusions sur le parcours et sur la façon dont la "scène" affichée a été observée. Dans le second, le rôle de l'oculomètre était non seulement passif, mais également actif, car l'œil pouvait indiquer le click et de ce fait jouer un rôle actif dans l'interaction.

Approches passives

Dans le cas des approches passives, le dispositif d'eye tracking a pour fonction de suivre les déplacements du regard sur l'écran, le sujet observant une image, un texte, ou effectuant une recherche sur la page web. La trace de ces déplacements est conservée pour l'évaluation.

Dans le cas d'une étude sur la perception d'une image, ce dispositif met en évidence le parcours d'exploration de l'image et permet de dégager la stratégie d'exploration et éventuellement des zones significatives. Il paraît intéressant d'étudier si la même stratégie est effectivement utilisée par les utilisateurs différents et s'il est possible de trouver les mêmes zones d'intérêt. Si la réponse est positive, cette étude peut déboucher sur la mise au point d'une structure de l'image et faciliter son indexation. Si les stratégies d'exploration et les zones d'intérêt divergent, il est souhaitable de classer les utilisateurs en po-

pulations, qui pourront ainsi être caractérisées. Dans le cas de documents informatifs comportant du texte (par exemple des affiches, des publicités,...), l'oculomètre peut contribuer à l'étude de lisibilité, en s'appuyant à la fois sur l'identification de la stratégie d'exploration et des zones examinées. On peut ainsi contribuer à la recherche et la validation d'une bonne organisation du document.

Dans le domaine de l'IHM proprement dite, l'oculomètre peut contribuer à l'évaluation des interfaces [1] [7], l'évaluation constituant une étape importante du cycle de vie des applications interactives. Différentes approches ont été proposées ; il existe aujourd'hui plusieurs classifications de ces méthodes d'évaluation. On en distingue trois principales qui s'accordent pour produire un classement des méthodes assez similaire. Il s'agit de l'évaluation formative et summative [8], l'évaluation prédictive et expérimentale [6] et l'évaluation empirique et analytique [13]. Il existe aussi des classifications différentes des trois précédentes qui classent les méthodes suivant des critères aussi variés que la prise en compte de l'utilisateur ou la discipline d'origine de la méthode. L'évaluation s'intéresse principalement à l'utilité et l'utilisabilité : l'interface proposée est-elle utile ? utilisable ? donne-t-elle satisfaction à toutes les catégories d'utilisateurs visés (novices, expérimentés, occasionnels, professionnels...), est-elle homogène et plus généralement respecte-t-elle des règles ergonomiques [2] [3] ? Il est facile d'imaginer que l'évaluation des sites Web est aujourd'hui particulièrement recherchée [10]. Dans ce cas, il s'agit de valider à la fois la structure du site, la navigation et le contenu. Parmi les approches d'évaluation, celle basée sur l'expérimentation avec des utilisateurs potentiels est la plus courante.

Les évaluations conduisent à accumuler un nombre important de données, dont le dépouillement est très long et fastidieux. Nous avons pu constater ce problème il y a quelques années, lors de l'étude impact d'un écran d'information et d'aide à la navigation dans une voiture sur la conduite [9]. Les enregistrements vidéo intégrant trois images : les mouvements des yeux entre la conduite et l'écran de d'aide, le contenu de l'écran d'aide et la route, ont été nombreux et leur dépouillement extrêmement fastidieux. Une instrumentation est nécessaire pour obtenir une plus grande efficacité dans le dépouillement des données acquises lors des expérimentations, qui doit être le plus automatique possible [4].

Approches actives

Dans les approches actives, il s'agit de donner à l'œil la possibilité d'initialiser, voire de mener complètement les interactions. Il s'agit de mouvoir le curseur (fonction poursuite) et éventuellement de sélectionner et valider l'activation par l'équivalent du click souris. En effet, on peut imaginer que l'œil remplace la souris, soit dans sa fonction de déplacement et positionnement du curseur et

on laisse les fonctionnalités click (bouton droit ou gauche) et drague à la souris, soit on donne toutes les fonctionnalités à l'œil et on supprime la souris. Ainsi ces approches conduisent à imaginer de nouvelles formes d'interaction (Cf. par exemple les expérimentations menées dans le domaine chirurgical).

Ces deux situations ont été expérimentées pour apprécier leur efficacité respective. En effet, en nous inspirant des travaux de Noirhomme et al. [12], nous avons mis en place un ensemble d'exercices portant sur trois types d'habiletés, que nous avons testées avec trois sortes d'interactions (souris seul, regard pour la poursuite et souris pour click et drague et regard seul).

RÉALISATION D'UN OUTIL DE TEST D'HABILETÉS

Nous avons réalisé une série d'exercices se situant dans trois catégories d'habiletés (motrice, perceptive, cognitive). Pendant le test, des données captées sont mémorisées, puis analysées. L'objectif était de mettre en place un outil d'évaluation ouvert, pour pouvoir ajouter de nouveaux exercices. Il s'agissait de mettre en place également un moyen de synthétiser des résultats d'évaluation.

Habiletés motrices

Pour étudier les habiletés motrices, différents types d'exercices ont été mis en place nécessitant respectivement le click simple, le click avec maintien, le déplacement suivi d'un click, le déplacement avec maintien, conduisant progressivement vers une coordination de plus en plus importante d'actions. Voici une liste non-exhaustive d'exercices (Figure 2):

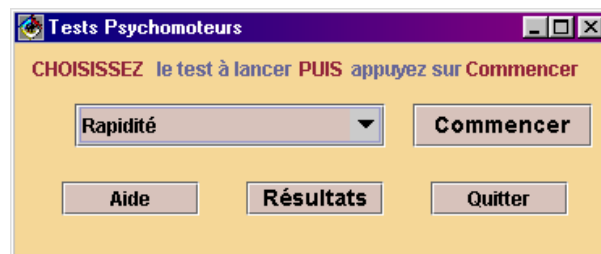


Figure 2 : Un ensemble de tests d'habiletés et une synthèse de résultats

- click suite à une sollicitation (test de réaction)
- click et maintien pour amener un objet qui se déplace vers la cible (test de réaction, de qualité de maintien et de la proximité de la cible), figure 3.

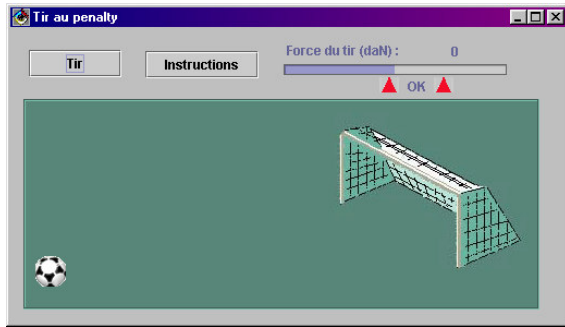


Figure 3 : Test d'habileté motrice

- atteindre une cible sur l'écran (de taille différente) : on mesure le temps nécessaire et la précision de la désignation (la trace du mouvement de la souris peut être visualisée, la longueur calculée, ...). Un cas de ce type d'exercice est présenté sur la figure 4. Il s'agit de désigner le plus rapidement possible la case qui est colorisée en vert pendant un laps de temps choisi.

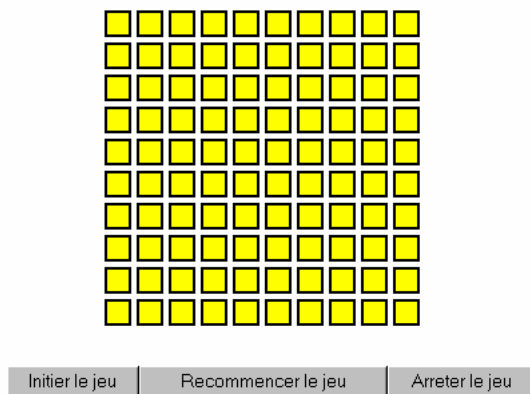


Figure 4 : Exemple de test d'habileté motrice.

Habiletés perceptives

Ces habiletés sont étudiées en conjonction avec les habiletés motrices assurant la réalisation de la tâche demandée. Voici une liste d'exercices :

- reconnaissance et déplacement d'un objet pour le ranger à sa place (placement et validation par bouton OK)
- rangement d'objets multiples
- construction de lignes basées sur des points existants (visualisation du parcours de la souris)
- défilement d'une cible et click pour signifier son alignement (vertical, horizontal ou bidirectionnel)

Habiletés cognitives

Ces habiletés de plus haut niveau s'appuient sur les habiletés motrices et perceptives. Voici une liste d'exercices :

- parcours d'un ensemble de cibles dispersées selon un ordre donné (numéro d'ordre, valeurs croissantes, ordre alphabétique,...)
- recherche d'information partiellement cachée (couples d'images,...). La figure 5 montre un exemple de ce type d'exercice. Il s'agit de retrouver le plus rapidement possible l'image jumelle cachée.

Plusieurs tests sont actuellement en étude pour comparer différentes configurations d'interaction :

- interaction basée uniquement sur la souris,
- interaction basée sur une tablette et un stylet,
- interaction entièrement à l'œil (déplacement du curseur et validation par click),
- interaction couplant le mouvement oculaire (exprimant le déplacement du curseur) et le click souris (pour la validation).

Les premiers résultats de ces tests font apparaître que la dernière configuration paraît intéressante, même si généralement les deux premières sont gagnantes. Le click à l'œil ne paraît pas intéressant à cause de la lenteur de reconnaissance.

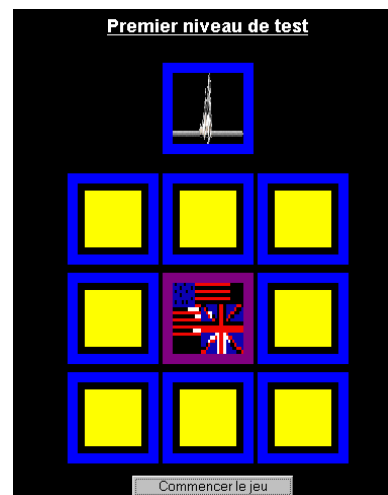


Figure 5 : Exemple de test d'habileté cognitive

PROJET ACCORÉA

Le projet ACCORÉA (Aide à la Conception COopérative supportée par la Réalité Augmentée) qui vise à étudier les apports de la réalité augmentée dans des activités de conception tant dans ses dimensions individuelles que collectives constitue un cadre intéressant d'expérimentation de l'interaction à l'œil. En effet, le contexte de réalité augmentée constitue un environnement qui tente à mêler harmonieusement la physicalité et la virtualité et dans lequel l'interaction oculaire vise à proposer des nouvelles formes d'interaction.

Il s'agit en particulier de mettre en place des possibilités de navigation sur un mur d'affichage et de placer des repères de type télépointeur qui pourront être vus par tous les acteurs du travail collaboratif et commentés par celui qui les a placés. Il devrait ainsi être possible de s'asseoir

dans un fauteuil et d'observer le mur d'affichage, tout en choisissant ce que l'on veut regarder et comment on veut que l'affichage se fasse (présentation spécifique).

Dans l'accoudoir on peut disposer d'un outil permettant le click (un, deux ou trois boutons) pour accélérer les interactions. Le dispositif étudié est le Quickglance dans une configuration un peu différente de la solution initiale car l'écran a été remplacé par le mur de projection (voir figure 6).

Dans ce contexte l'utilisateur observe ce mur via une potence qui supporte le dispositif et capte les mouvements oculaires. De cette façon, il est possible de focaliser le regard et choisir les actions à entreprendre. Les premiers résultats seront présentés dans la version finale de ce papier et dans la présentation orale.

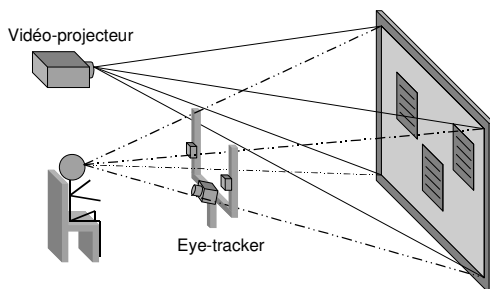


Figure 6 : Eye-tracking comme moyen d'interaction dans un contexte coopératif à distance

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Nous étudions actuellement les différentes façons d'utiliser le mouvement oculaire en IHM. L'approche passive a pour but d'emmagasiner les mouvements oculaires et de les utiliser comme information précieuse pour déterminer comment l'utilisateur examine une image, une affiche ou une IHM (écran de contrôle, page WEB...). Une deuxième série d'expériences concerne la participation de l'œil à l'interaction proprement dite, en se chargeant de celle-ci de façon complète ou partielle en couplage notamment avec un dispositif de click, qui peut être matérialisé de différentes manières. Le travail décrit ici constitue une première étape dans une démarche que nous voulons globale. En effet, il s'agit non seulement d'étudier le rôle de l'œil dans l'interaction, mais également de proposer des activités et des tâches appropriées tenant compte de ces possibilités d'interaction. En particulier, selon le dispositif utilisé (embarqué ou fixe) nous pouvons suivre le regard n'importe où, ou dans une direction donnée (écran ou surface d'affichage). Ce choix conditionne la nature des expérimentations.

Dans le travail d'analyse, nous nous positionnons par rapport aux travaux de C. Charbonnier [5] qui dans sa thèse a très bien quadrillé le terrain.

L'utilisation passive, basée sur l'enregistrement des traces de mouvements oculaires, est assez facile et très utile. Le rôle de l'oculomètre est primordial pour la qualité et la rapidité d'analyse. L'utilisation active (interaction via l'œil) est plus délicate ; certes utile dans le cas de handicap, elle est plus difficile dans le contexte d'efficacité maximum. Il faut donc apprécier plus globalement, dans une démarche conduisant à dégager le bilan global, si l'interaction à l'œil, malgré ses défauts (imprécision et lenteur du click), contribue à obtenir une performance globale d'interaction plus intéressante, qu'une interaction à l'aide de dispositifs plus classiques. Nous pouvons citer des situations, comme le pilotage d'engin ou d'avion couplé à une activité complémentaire d'observation ou d'action (prise de photos ou d'actions de combat), ou les activités de maintenance conduisant à la fois à faire des gestes techniques et à consulter la documentation décrivant l'intervention à mener, où le bilan global peut confirmer l'intérêt de l'interaction à l'œil.

Outre l'imprécision et la lenteur, on peut également reprocher au regard son impossibilité de se consacrer complètement à l'interaction. En effet, il est impensable d'imaginer que l'œil puisse abandonner son rôle d'observateur général car il est de ce point de vue totalement incontrôlable.

Pour préserver ce rôle d'observateur transversal (au-delà de l'activité propre d'interaction), on nécessite une approche multimodale synergique [11] permettant d'indiquer le début et la fin d'utilisation de l'œil comme moyen d'interaction. De cette façon on peut obtenir une bonne qualité de suivi et d'action, car l'utilisateur peut accepter pendant un temps fini (et souvent assez court) de dédier l'œil à cette activité. Un tri implicite entre l'activité d'interaction et la activité d'observation globale ne nous semble pas approprié, tout au moins pour l'instant.

Les interactions dans le contexte de réalité augmentée collaborative constituent un challenge très excitant que nous relevons prioritairement non seulement pour mettre en place une nouvelle modalité de manipulation d'un télépointeur, mais également et surtout pour permettre une manipulation visuelle des objets réels sur une surface de travail mixte. En contexte de réalité augmentée, environnement qui vise à mêler harmonieusement la physicalité et la virtualité, l'eye tracking autoriserait, grâce à son dispositif physique, de nouvelles formes d'interactions avec le virtuel, par exemple en activité de conception.

BIBLIOGRAPHIE

1. Abed M. *Contribution à la modélisation de la tâche par des outils de spécification exploitant les mouvements oculaires : application à la conception et l'évaluation des Interfaces Homme-Machine*. Thèse de Doctorat, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, septembre 1990.

2. Bastien J.M. Techniques d'évaluation des systèmes interactifs. Cours à l'École d'été Interaction Homme-Machine du GDR-PRC Communication Homme-Machine du CNRS, 7-18 Juillet 1997, Marseille-Luminy.
3. Bastien C., Scapin D. Évaluation des systèmes d'information et Critères Ergonomiques. In Kolski C. (ed.), *Environnements évolués et évaluation de l'IHM, Interaction homme-machine pour les SI 2*, Hermes, Paris, p. 53-80, 2001.
4. Bernard J.M. *Exploitation des mesures oculométriques dans la modélisation de la tâche prescrite et de l'activité réelle des opérateurs par réseaux de Petri*. Thèse de doctorat, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, février 1994.
5. Charbonnier C. *La commande oculaire : étude et validation expérimentale d'interfaces homme-machine contrôlées par la direction du regard*, Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier, Grenoble, 1995.
6. Coutaz J., Salber D., Balbo S. *Towards Automatic Evaluation of Multimodal User Interfaces*, Amodeus Project document : SM/WP32, 1993.
7. Ezzedine H., Abed M. Une méthode d'évaluation d'interface homme-machine de supervision d'un procédé industriel. *Journal Européen des Systèmes Automatisés*, volume 31, n°7, pp. 1087-1110, 1997.
8. Howard S., Murray D. *A taxonomy of evaluation techniques for HCI*. In Proceedings of INTERACT'87, H.J.Bullinger and Shackel (eds.), Elsevier Science Publishers B.V. (North-Holland), IFIP, pp. 453-459, 1987.
9. Labiale G., Ouadou K., David B.T. *A software system for designing and evaluating in-car information system interfaces*. In H.G. Stassen (ed.) Analysis, design and evaluation of man-machine systems, PERGAMON Press, 1993.
10. Nielsen J. *Conception de sites Web, l'art de la simplicité*. Campus Press France, 2000.
11. Nigay L., Vigouroux N. (ed.) *Dix ans de Multimodalité en France*. Cépaduès, 2000.
12. Noirhomme-Fraiture M., Charrière C., Vanderdonckt J. A Laboratory of Ergonomic Analyses for Children Suffering from Cerebral Palsy. In Vanderdonckt J., Farenc Ch. (eds.), *Tools for Working with Guidelines*, Springer, 2001.
13. Senach B. Evaluation ergonomique des Interfaces Homme-Machine : une revue de la littérature. Rapport de l'INRIA n°1180, Mars 1990.
14. Vanderdonckt J., Farenc Ch. (eds.) *Tools for Working with Guidelines*. Springer, 2001.