

David Francioli

**Développement d'un modèle psychophysique
prédictif pour optimiser les conditions visuelles au
poste de travail**

**Entwicklung eines psychophysischen Modells zur
Beurteilung visueller Anforderungen am Arbeitsplatz**

Aktuelle Probleme der Sehforschung

Band 2

David Francioli

**Développement d'un modèle psychophysique
prédictif pour optimiser les conditions visuelles
au poste de travail**

Entwicklung eines psychophysischen Modells zur
Beurteilung visueller Anforderungen am Arbeitsplatz

Shaker Verlag
Aachen 2004

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Zugl.: Lausanne, Univ., Diss., 2004

Copyright Shaker Verlag 2004

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 3-8322-3604-X

ISSN 1610-9996

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen
Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9
Internet: www.shaker.de • eMail: info@shaker.de

Vorwort

Die Arbeitswelt ist immer stärker von visuellen Tätigkeiten geprägt. Es ist deshalb nicht verwunderlich, dass Sehbeschwerden und die Leistungsfähigkeit des Auges zentrale Themen der Arbeitswissenschaft sind. Im ersten Band der Reihe „Aktuelle Probleme der Sehforschung“ wurde über Schwierigkeiten berichtet, arbeitsplatzbedingte Sehbeschwerden zu quantifizieren und deren Ursachen zu identifizieren.

Die Rolle lichttechnischer Variablen bei einer akut erbrachten Sehleistung ist seit Mitte des 19. Jahrhunderts unter einer grossen Vielfalt von Voraussetzungen untersucht worden. Für eine ergophthalmologische Beurteilung der Arbeitsplatzbedingungen müssen die bislang gewonnenen Erkenntnisse ergänzt werden. Zum Einen muss die individuelle Ausprägung von Fähigkeiten und Bedürfnissen in verstärktem Masse berücksichtigt werden. Zum Anderen müssen die lichttechnischen Variablen unter realitätsnahen Bedingungen erforscht werden, da aufgrund laborbedingter Einschränkungen die Kombinationswirkung der Variablen sich nur unzureichend untersuchen lässt.

In seiner Dissertationsarbeit mit dem Titel „Entwicklung eines psychophysischen Modells zur Beurteilung visueller Anforderungen am Arbeitsplatz“ liefert David Francioli einen wichtigen Beitrag zur individuellen Abschätzung der visuellen Beanspruchung bei der Arbeit. Herr Francioli führt Masse zur individuellen Charakterisierung der Fähigkeiten und der Bedürfnisse des Auges ein, die eine umfassendere ergophthalmologische Betrachtung zulassen, als dies unter alleiniger Verwendung angestammter Beobachtungsgrössen, wie die Sehschäre, der Fall ist. Die eingeführten Masse beschreiben eine individuelle Licht- und Blendempfindlichkeit so, dass daraus einerseits individuelle Wahrscheinlichkeiten einer erhöhten Beanspruchung bestimmt werden können und sich andererseits lichttechnische Anforderungen zur Arbeitsplatzgestaltung ableiten lassen.

Für die Praxis bietet Herr Francioli eine Testvorrichtung an, das sogenannte „ergovisiomètre“, das zur Bestimmung der individuellen Licht- und Blendempfindlichkeit dient. Ebenso wurden für die Praxis Schemata entwickelt, mit denen die Lichtgestaltung am Arbeitsplatz den individuellen Voraussetzungen angepasst werden kann.

Für seine Dissertationsarbeit wurde Herrn Francioli den Dokortitel von der Universität Lausanne verliehen. Herr Francioli legte die Dissertationsprüfung am 11. Februar 2004 ab. Das Prüfungsgremium setzte sich zusammen aus: Prof. Jacques Dubochet, Président et Rapporteur, Dr. Jean-Jacques Meyer, Directeur de thèse, PD Dr. Marino Menozzi, Expert, Dr. Raphaël Compagnon, Expert.

Zürich, im Dezember 2004

Der Herausgeber

Privatdozent Dr. sc. nat. Marino Menozzi

RESUME

Le sujet de notre recherche, qui s'inscrit dans le cadre de l'ergonomie visuelle, a pour objectif la conception de nouveaux indicateurs de confort visuel. Ici la notion de confort fait référence à des conditions lumineuses adaptées à l'exécution d'une tâche caractérisée par une certaine exigence d'acuité. L'évaluation des conditions visuelles se fait sur la base de critères d'optimisation de la visibilité et de minimisation de la gêne par éblouissement. En effet, l'analyse ergonomique a révélé que les recommandations actuellement en vigueur, et leurs modèles sous-jacents, ne garantissent pas une adaptation suffisante des conditions lumineuses pour les postes de travail à haute charge visuelle, à savoir le travail sur écran, les postes de contrôle de qualité et la conduite nocturne, ceci pour les raisons suivantes.

Premièrement, ces recommandations ne tiennent pas suffisamment compte des facteurs suivants: 1) la distribution de lumière qui caractérise le champ visuel perçu; 2) l'éclairage vertical au niveau des yeux; 3) le profil visuel établi par des tests ergophtalmologiques suffisamment sensibles d'une population active, dont l'âge moyen augmente. Ce sont autant de facteurs qui engendrent un manque de visibilité que l'on ne peut traiter indépendamment de l'éblouissement.

Deuxièmement, les modèles existants ne rendent pas suffisamment compte de l'éblouissement par la lumière naturelle qui intervient par la présence de grandes surfaces vitrées. C'est dans le cadre du projet pluridisciplinaire LUMEN initié en 1990 et dont l'objectif était une meilleure utilisation de la lumière naturelle, que les ergonomes ont suggéré de fournir aux ingénieurs et architectes de nouveaux indices, plus globaux pour optimiser l'utilisation de la lumière naturelle dans les locaux de travail. Suite à une première modélisation qui a abouti à l'élaboration d'un premier indice, le J-index, il s'est avéré nécessaire de valider plus fondamentalement les relations entre acuité et éblouissement dans des conditions représentatives de la sollicitation réelle des travailleurs.

Trois expériences, se distinguant par leur degré de conformité à la réalité du terrain, ont été réalisées. La première étude s'est déroulée dans un local prototype permettant ainsi d'étudier le mélange de lumière artificielle et naturelle. La deuxième étude a eu lieu directement sur le terrain avec l'évaluation en continu de conditions lumineuses de deux sujets à leur poste de travail. La troisième étude a été menée entièrement en laboratoire (en lumière artificielle), permettant un contrôle précis de la lumière.

Ces expérimentations ont nécessité tout d'abord de constituer un groupe de sujets suffisamment représentatif de la population active et ensuite, de développer un certain nombre d'outils: 1) des questionnaires informatisés; 2) un logiciel de test visuel sur écran permettant de déterminer une courbe "acuité – contraste" pour un individu; 3) un test visuel sur une table lumineuse (tables d'acuités allant de 1 à 20 dixièmes et luminance de fond réglable entre environ 1 et 7000 cd/m², et possibilités de tester contrastes positifs et négatifs); 4) un photoluminancemètre numérique permettant de mesurer la distribution de lumière du champ visuel (sur en fait 180°) à l'aide de 7 photographies numériques.

La recherche a permis d'élaborer quatre indices de confort visuel présentés sous la forme de probabilité P de gêne pour un individu donné, défini par son profil visuel. Ces indices évaluent le rôle joué par les 4 facteurs d'inadaptation suivants: 1) la tâche manque de lumière (PMT); 2) la tâche est éblouissante; 3) l'environnement lumineux est éblouissant; 4) le manque de visibilité en relation avec l'exigence d'acuité (PMP). Tous ces indices dépendent de la distribution de luminances dans le champ visuel, de l'éclairage reçu par les yeux et du profil visuel des individus. De plus ils sont nuancés (valeurs allant de 0 à 100) et comparables entre eux, ce qui permet un traitement plus global de l'inconfort visuel, comme le suggérait le J-index.

En ce qui concerne l'acuité, le modèle basé sur la MTF (modulation transfert function), bien connue des psychophysiciens, ouvre une voie pour mieux comprendre le mécanisme qui régit l'acuité visuelle en situation réelle. Cette relation pourra être étudiée plus en détail grâce à un nouvel outil de test visuel en cours de finalisation. Cet outil, appelé ergovisiomètre, correspond à une nouvelle version modernisée du test de référence C45 utilisé dans cette étude pour définir le profil visuel des sujets.

Remerciements

Ce travail fait partie d'une recherche financée par le FNRS, crédit no 3200-057039.99. Je voudrais ici remercier les nombreuses personnes qui ont collaboré dans ce travail:

- **Dr. Jean-Jacques Meyer**, directeur de cette thèse, qui a toujours été depuis 1990 un soutien inconditionnel et éclairé pour moi, c'est lui qui m'a donné l'intérêt et la passion pour ce domaine de la recherche,
- **Professeur Paule Rey**, initiatrice du projet LUMEN, point de départ en 1990 de toute cette recherche,
- Monsieur **Hendrik Kerkhoven** dont l'aide technique a été précieuse dans l'élaboration du dispositif expérimental (il a été entre autres le concepteur initial des panneaux lumineux)
- **Dr. Laurent Michel** qui a pris une part prépondérante dans l'organisation de l'expérience, le lien avec le laboratoire d'énergie solaire (LESO), et son travail capital sur l'ergovisiomètre,
- Messieurs **Christian Roecker**, adjoint scientifique au LESO, et **Pierre Loesch** qui ont élaboré les concepts électro-mécaniques concernant les panneaux lumineux, la table lumineuse, et l'ergovisiomètre,
- **Drs. Gilles Courret et Antoine Guillemin**, dont les collaborations m'ont permis de développer questionnaires et test visuel sur écran,
- **Professeur Jean-Louis Scartezzini**, directeur du LESO, qui a permis la collaboration entre nos deux laboratoires, et notamment nous a mis à disposition toute l'infrastructure des locaux prototypes DEMONA,
- **L'Institut Universitaire Romand de Santé au Travail (IURST)** qui a été le principal soutien de l'ensemble de notre recherche,
- **Viviane Gonik, Sandrine Kurth** mes collègues qui m'ont beaucoup aidé et soutenu tout au long du travail,
- **Carine Joly**, qui m'a apporté à un moment crucial son aide précieuse en ce qui concerne les traductions en anglais,
- **Patrick Grandchamp**, qui nous a permis d'acquérir l'appareil numérique et surtout l'objectif fish-eye qui n'existait plus sur le marché à l'époque,
- Toutes les personnes, collègues ou amis qui m'ont aidé pour finaliser ce travail
- **Ma famille, mes parents, mes sœurs, ma fiancée** qui m'ont toujours soutenu
- **Tous les membres du jury** qui ont montré de l'intérêt pour cette recherche, et qui par leur expertise ont contribué à en améliorer la qualité.

SOMMAIRE

Vorwort	5
RESUME	6
Remerciements	7
chapitre I	11
INTRODUCTION	11
Objectifs et contexte de l'étude	11
chapitre II	14
Etat de la question et hypothèses.....	14
2.1 Etat de la question	14
2.2. Hypothèses	31
chapitre III	41
methode expérimentale	41
3.1. Introduction	41
3.3. Expérience en local prototype	57
3.4. Expérience de suivis	60
3.5. Recrutement des sujets	63
3.6. Les outils développés	69
3.7 Méthodes statistiques	92
chapitre IV	102
résultats	102
4.1. Préambule.....	102
4.2. Expérience dans le local prototype.....	102
4.3. Expérience de suivi.....	142
4.4 Expérience en laboratoire	147
chapitre V	177
discussion	177
5.1 Résumé des résultats	177
5.2. Méthode de mesure pour l'évaluation des indices.....	182
Figure 5.1. Relation entre l'inhomogénéité et le rapport d'éclaircement. La courbe représente l'équation approchée 5.15.	183
5.3. Utilisation des indicateurs d'inconfort pour des recommandations.....	184
5.4. Quelques exemples provenant du terrain.....	190
chapitre VI	194
conclusions	194
références bibliographiques	196
ANNEXES	203
A-1. Calculs statistiques.....	203
A-2. MTF (Fonction de Transfert de la Modulation).....	213
A-3. Définitions.....	215
A-4. Nomenclature des variables.....	221
A-5. Champs visuels présentés au cours de l'expérience, <i>photographies et mesures</i>	223
Curriculum vitae	247