



**HAL**  
open science

## La fatigue visuelle.

F. Cail, S. Salsi

► **To cite this version:**

F. Cail, S. Salsi. La fatigue visuelle.. [Rapport de recherche] Notes scientifiques et techniques de l'INRS NS 92, Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS). 1992, 58 p., ill., bibliogr. hal-01420177

**HAL Id: hal-01420177**

**<https://hal-lara.archives-ouvertes.fr/hal-01420177v1>**

Submitted on 20 Dec 2016

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**MARS 1992**

N° ISSN 0397 - 4529

**92**

# **LA FATIGUE VISUELLE**

**F. CAIL ET S. SALSI**

**Service de Physiologie Environnementale**

**INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE ET DE SECURITE**

**SIEGE SOCIAL :  
30, RUE OLIVIER-NOYER, 75680 PARIS CEDEX 14**

**CENTRE DE RECHERCHE :  
AVENUE DE BOURGOGNE, 54501 VANDŒUVRE CEDEX**

# S O M M A I R E

	Pages
<b>AVANT-PROPOS</b>	
<b>RESUME</b>	
<b>INTRODUCTION</b>	1
<b>1 - DEFINITION DE LA FATIGUE</b>	2
<b>2 - NATURE DE LA FATIGUE</b>	2
<b>2.1 - SYMPTOMES SUBJECTIFS</b>	2
<b>2.1.1 - Plaintes dominantes</b>	3
<b>2.1.2 - Causes des plaintes</b>	3
2.1.2.1 - Facteurs individuels	3
2.1.2.2 - Facteurs professionnels	5
<b>2.2 - MODIFICATIONS PHYSIOLOGIQUES</b>	8
<b>2.2.1 - Diamètre pupillaire</b>	8
<b>2.2.2 - Accommodation</b>	10
<b>2.2.3 - Myopie transitoire</b>	15
<b>2.2.4 - Mouvements oculaires</b>	17
<b>2.2.5 - Clignements</b>	18
<b>2.2.6 - Vergence</b>	20
<b>2.2.7 - Phories</b>	23
<b>2.2.8 - Fréquence critique de fusion (FCP)</b>	24
<b>2.2.9 - Acuité visuelle</b>	26
<b>2.2.10 - Sensibilité au contraste</b>	28
<b>2.2.11 - Potentiels évoqués (PEV)</b>	29
<b>2.2.12 - Divers</b>	30
<b>2.2.13 - Conclusion générale</b>	32
<b>2.3 - PERFORMANCE VISUELLE</b>	32
<b>3 - CORRELATIONS ENTRE INDICES</b>	34
<b>3.1 - CORRELATIONS ENTRE SYMPTOMES SUBJECTIFS ET         MODIFICATIONS PHYSIOLOGIQUES</b>	34
<b>3.2 - CORRELATIONS ENTRE MODIFICATIONS         PHYSIOLOGIQUES ET PERFORMANCE</b>	34
<b>3.3 - CORRELATIONS ENTRE DIVERSES MODIFICATIONS         PHYSIOLOGIQUES</b>	34
<b>3.4 - CORRELATIONS ENTRE SYMPTOMES SUBJECTIFS ET         NON VISUELS</b>	35
<b>3.5 - CONCLUSION</b>	35

<b>4 - PERSISTANCE DE LA FATIGUE VISUELLE</b>	<b>35</b>
<b>4.1 - FATIGUE VISUELLE APRES LA JOURNEE DE TRAVAIL</b>	<b>35</b>
<b>4.2 - FATIGUE VISUELLE APRES LA SEMAINE DE TRAVAIL</b>	<b>36</b>
<b>4.3 - ENQUETES EPIDEMIOLOGIQUES</b>	<b>36</b>
<b>4.4 - CONCLUSION</b>	<b>36</b>
<b>5 - BIAIS METHODOLOGIQUES</b>	<b>37</b>
<b>6 - DISCUSSION ET CONCLUSION</b>	<b>37</b>

## **A V A N T - P R O P O S**

Cette note constitue une revue de la littérature récente concernant la fatigue visuelle. Elle a été élaborée afin de mieux définir la nature et la localisation des principaux symptômes et d'acquérir une connaissance plus approfondie des facteurs susceptibles de contribuer à cette fatigue.

## **R E S U M E**

Le développement des nouvelles technologies de visualisation met en relief le problème de la fatigue visuelle.

La présente revue appréhende principalement les travaux réalisés au cours de ces 10 dernières années.

Les principaux thèmes abordés sont les symptômes subjectifs, les modifications physiologiques, la performance visuelle, la persistance de la fatigue et les biais méthodologiques.

Les résultats établis pour chaque thème sont présentés sous forme de résumés.

Sur la base de ces données, la fatigue visuelle se manifeste sous des formes diverses et son apparition est dépendante de très nombreux facteurs.

**Mots clés :** FATIGUE VISUELLE / VISION / ECRAN DE VISUALISATION

## **INTRODUCTION**

En 1976, la charge visuelle était considérée comme la charge de travail la plus délaissée et la plus méconnue [1]. Deux ans plus tard, les travaux du Colloque international "Vision-travail" mettaient en évidence l'absence de définition exhaustive de la fatigue visuelle [2]. Aujourd'hui encore, la fatigue visuelle reste un concept flou [3]. Les termes fatigue visuelle et astreinte visuelle sont souvent ambigus et utilisés sans avoir été clairement définis. Or l'intégration des nouvelles technologies de visualisation au poste de travail contribue à privilégier de plus en plus l'information visuelle par rapport aux autres types d'information. Lors des enquêtes sur le terrain, la fatigue visuelle est souvent dénoncée par les opérateurs effectuant des tâches à fortes sollicitations pour la vue (travail informatisé ou avec aides optiques, contrôle de qualité, etc.). Ce problème est donc préoccupant ; ainsi, en 10 ans, plus de 130 études ont été consacrées à la fatigue visuelle des opérateurs sur écran.

Les objectifs du présent travail sont donc de rassembler des connaissances sur la fatigue visuelle à partir des travaux publiés sur la question pendant les dix dernières années. En particulier, nous tenterons de clarifier le concept de fatigue visuelle, de répertorier toutes les manifestations concernant la vision lors de tâches à exigences visuelles, ainsi que les facteurs individuels et professionnels susceptibles d'occasionner des troubles visuels ou d'entraîner des modifications fonctionnelles de la vision. Cette analyse de la littérature portera notamment sur les symptômes subjectifs, les modifications physiologiques, la performance visuelle, les corrélations entre ces différents indices, la persistance de la fatigue et les biais méthodologiques. Pour cela, 283 articles consacrés au problème de la fatigue visuelle ont été analysés. A partir d'une liste de plus de 700 références ayant trait de près ou de loin à la fatigue visuelle, les 283 articles analysés ont été retenus sur la base de la renommée de leurs auteurs, la qualité de la revue dans laquelle ils sont publiés ou la taille des populations examinées. Lorsque les données étaient contradictoires, il a été difficile de prendre position en faveur de tel ou tel auteur ; aussi dans ce cas sommes nous restés neutres.

## **1 - DEFINITION DE LA FATIGUE**

Astreinte, inconfort, gêne, asthénopie sont des termes souvent employés sans distinction pour désigner la fatigue. Le terme astreinte oculaire pourrait suggérer un endommagement des yeux et ne devrait pas être employé, puisque les tâches sollicitantes pour la vue ne dégradent pas la vision ou n'augmentent pas les défauts de réfraction de façon permanente [4]. Il serait donc plus adéquat d'employer le mot asthénopie ou de se référer à des modifications spécifiques, telles que la baisse de performance, les sollicitations oculomotrices ou les symptômes visuels ou oculaires, plutôt que d'invoquer le terme fatigue visuelle [5].

A l'exception d'un auteur qui considère que la fatigue visuelle est un terme indéfinissable [6], nombreux sont les auteurs qui ont proposé leur définition de cette fatigue. Celle-ci serait un effet physiologique réversible [2] [7] résultant de sollicitations excessives des muscles oculaires [7] [8] et de la rétine [9], pour tenter de conserver une image nette [4] [7] [9] par des ajustements inefficaces [4] [10]. Elle s'accompagne d'une réduction de la capacité nécessaire à la réalisation d'une tâche visuelle et d'une modification de la stratégie d'accomplissement de cette tâche ; elle constitue un signal d'alarme [2].

## **2 - NATURE DE LA FATIGUE**

La fatigue visuelle peut se traduire non seulement par des symptômes subjectifs et des modifications physiologiques, mais aussi par une baisse de la performance visuelle. Ces manifestations peuvent constituer 3 classes relativement indépendantes de processus comportementaux affectés par la fatigue visuelle [11] [12].

### **2.1 - SYMPTOMES SUBJECTIFS**

La fatigue visuelle subjective est caractérisée par 3 groupes de symptômes [2] [13] :

- *oculaires* : sensation de tension du globe oculaire, sécheresse de l'oeil, lourdeur des paupières, picotements, sensation de brûlure ou de démangeaison, douleur à la pression,
- *visuels* : vision trouble (ou perception floue), diplopie, impression de voile devant les yeux, baisse de l'acuité visuelle, difficultés de fixation, apparition de franges colorées autour des objets, persistance anormale des images consécutives, instabilité de l'image dans sa définition optique et dans sa localisation spatiale, éblouissements,
- *généraux* : céphalées le plus souvent frontales ou en casque, nausées, vomissements, somnolence en permanence, algies vertébrales, sensations vertigineuses.



Ces symptômes représentent les dernières étapes d'une surcharge visuelle prolongée. Les étapes antérieures sont difficiles à identifier autrement que par la gêne et la connaissance de l'effort requis pour focaliser [7].

### 2.1.1 - Plaintes dominantes

Dans le travail sur écran, les plaintes les plus fréquentes concernent les maux de tête, les picotements et irritations oculaires, la vision trouble [13] [14] [15]; généralement, les symptômes oculaires sont plus fréquents que les symptômes visuels [16]. Dans le travail avec microscope, les plaintes dominantes sont les maux de tête et les conjonctives irritées [17] [18] [19]. Il existe cependant des différences notables dans les pourcentages, selon les enquêtes (figure 1).

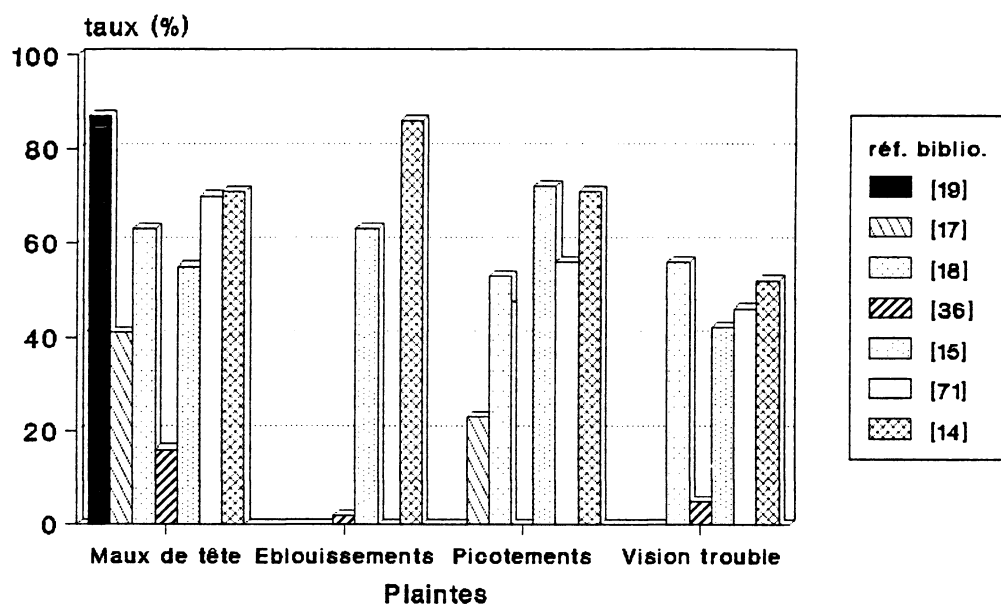


Figure 1: taux (%) de plaintes dans des populations effectuant des tâches sur écran ou avec aide optique

Selon différentes sources bibliographiques

### 2.1.2 - Causes des plaintes

L'apparition des plaintes dépend de 2 catégories de facteurs : individuels et professionnels.

#### 2.1.2.1 - Facteurs individuels

Les facteurs individuels comprennent les défauts visuels, le port de verres correcteurs, le sexe, l'âge et les causes générales.

- **Défauts visuels** : les symptômes oculaires des opérateurs sur écran sont associés à la préexistence de défauts visuels [20] [21] [22] [23] [24] tels que les anomalies oculomotrices [25], l'hétérophorie non compensée ou l'acuité visuelle inférieure à 0,7 [26]. La vision trouble est corrélée à une augmentation de la pression intraoculaire [27]. Dans le travail avec microscope, les manifestations d'astreinte visuelle sont liées à l'astigmatisme [17] [28]. Chez des opérateurs effectuant des travaux à forte exigence visuelle (travail sur écran, avec aides optiques, etc.), les plaintes sont reliées à certains défauts visuels concernant l'acuité visuelle, la sensibilité à la lumière et au papillotement [29]. Cependant, les plaintes ne sont pas toujours liées aux anomalies de réfraction et de convergence [13], à l'inadéquation des réfractions, aux anomalies de la vision binoculaire, aux hétérophories [30] ou à la capacité d'accommodation et de convergence [31]. Les données ophtalmologiques en elles-mêmes ne peuvent pas définir la susceptibilité individuelle aux symptômes visuels dans le travail sur écran [23].
  
- **Port de verres correcteurs** : dans le travail sur écran, plusieurs auteurs ont constaté que la fréquence des symptômes subjectifs est plus élevée chez les porteurs de lunettes que chez les non porteurs [14] [24] [26] [32] [33] [34]. Le port de lunettes serait donc corrélé à l'astreinte visuelle. La différence entre porteurs et non porteurs ne serait pas réduite par la correction des défauts de réfraction, car le port de lunettes entraîne des problèmes de profondeur de focalisation, de reflets, etc. [35]. Le changement de lunettes n'entraînerait pas non plus une réduction des plaintes [36]. Cependant, l'absence de verres correcteurs, alors qu'ils seraient nécessaires, semble être un facteur important dans l'apparition des symptômes de vision trouble, notamment chez les sujets âgés [37]. En effet, les opérateurs sur écran âgés de plus de 40 ans qui portent des lunettes sont beaucoup moins gênés que ceux du même âge qui n'en portent pas [38]. Ces facteurs expliquent certainement pourquoi certains auteurs n'ont pu établir de lien entre la fatigue visuelle et le port de lunettes [39] [40].
  
- **Sexe** : dans le travail sur écran, les plaintes sont plus nombreuses chez les femmes que chez les hommes [26] [32] [33] [40] [41], même si elles utilisent moins longtemps l'outil informatique [42]. Par contre la différence entre les 2 sexes n'est pas significative chez les non utilisateurs [40].
  
- **Age** : certains auteurs ne constatent pas de différence significative, entre la fatigue visuelle des opérateurs sur écran de moins de 40 ans et celle

des plus âgés, quelle que soit la tâche [36] [40]. L'âge ne serait donc pas corrélé à la fréquence des plaintes [33] [42]. Chez ces opérateurs, les plaintes diminueraient même avec l'âge, mais il pourrait s'agir d'un phénomène d'auto-sélection [38]. Cependant, d'autres auteurs observent que les plaintes sont plus nombreuses chez les personnes dont l'âge est supérieur à 45 ans [24] [26]. Par contre, les symptômes de fatigue visuelle n'augmentent pas avec l'ancienneté dans le travail sur écran [13] [32] [42]. Ils diminuent même dans le travail avec microscope, grâce notamment à une meilleure maîtrise du réglage de l'appareil ou à l'habitation [43].

- **Causes générales** : parmi les paramètres favorisant l'apparition de la fatigue figurent l'insomnie, le tabac, l'alcool, certains médicaments, certaines maladies oculaires, les affections générales asthéniantes, les erreurs diététiques, l'état de santé de l'individu en général, des causes psychiques [2]. Les lecteurs lents sont plus fatigués que les lecteurs rapides [44]. Indépendamment de la tâche accomplie, les plaintes sont inversement reliées au niveau d'éducation [41].
  
- **Conclusion** : la fatigue visuelle peut être liée à la présence de défauts visuels et à la dégradation de l'état fonctionnel de l'opérateur. Dans le travail sur écran, elle est plus fréquente chez les femmes que chez les hommes. Cette différence n'est pas liée au sexe [35], mais peut être la conséquence d'une charge de travail plus élevée puisque les femmes sont plutôt employées à des tâches répétitives. Le port de lunettes peut constituer en lui-même un facteur déterminant dans l'apparition de la fatigue visuelle. Plusieurs de ces facteurs peuvent se combiner; ainsi, les plaintes prédominent chez les opérateurs d'âge moyen, porteurs de verres correcteurs et travaillant plus de 4 h par jour sur écran [45], notamment s'il s'agit de femmes de plus de 45 ans [26].

#### 2.1.2.2 - Facteurs professionnels

Les facteurs professionnels sont liés à l'environnement physique, au matériel utilisé par l'opérateur, à l'aménagement du poste et à l'organisation du travail.

- **Environnement physique** : la présence de symptômes oculaires est dépendante des conditions d'éclairage [46] [47] [48] telles qu'un faible éclairage du local [34] qui peut interférer avec la lisibilité des documents [49], un éclairage irrégulier du plan de travail dans des tâches d'inspection [50] ou l'emploi de tubes fluorescents qui ne sont pas

du type "lumière de jour" [51]. L'éclairage fait aussi l'objet d'un nombre relativement élevé de plaintes chez les opérateurs sur écran [52] [53] lorsque les conditions d'environnement lumineux se dégradent (rapports de luminance excessifs dans le champ visuel de travail, éclairage inadéquat) [38] [54] [55] [56]; l'éclairage direct à réflecteurs paraboliques occasionne plus de fatigue visuelle chez ces opérateurs que l'éclairage indirect [57]. L'environnement thermique contribue également à la fatigue visuelle, puisque la sécheresse de l'air peut déshydrater la cornée et entraîner une irritation de la surface de l'oeil [4].

- **Matériel** : la fatigue visuelle est particulièrement manifeste dans le travail avec aides optiques [18], sur microfiches [40] ou sur écran [42] [47] [53] [54] [58] [59]. La saisie [60], et éventuellement l'acquisition de données [32], sont les tâches informatisées les plus astreignantes.

Les troubles visuels des opérateurs sur écran peuvent être engendrés par la présence de reflets [13] [30] [61] [62] quelle que soit leur luminance [54]. L'apparition de ces troubles est également associée à la luminance des caractères [62] [63], à leur manque de netteté [30] [47] [49], au contraste négatif (caractères clairs sur fond sombre) par rapport au contraste positif (caractères sombres sur fond clair) [64] [65]. L'asthénopie est aussi corrélée au papillotement [62] [66] puisque les symptômes sont plus marqués avec une fréquence de rafraîchissement (FR) des caractères de 30 Hz qu'avec des FR supérieures [67]. Les couleurs situées vers les extrémités du spectre visible, telles que le rouge et le bleu, sont plus fatigantes que les couleurs verte ou jaune [68]; ces 2 dernières couleurs ne se différencient pas quant à la fatigue visuelle engendrée [69]. Les troubles visuels semblent moins fréquents lorsque les caractères sont blancs sur fond noir que lorsqu'ils sont de couleur bleue ou rouge sur ce même fond [70]. Toutefois, quand la qualité de l'affichage sur écran est supérieure à celle de l'impression sur papier, les pourcentages de plaintes sont similaires dans les 2 cas [71]. Dans le travail avec aides optiques, la charge visuelle est accentuée par la fixité permanente du regard, la dysharmonie entre l'accommodation et la convergence, la répartition insatisfaisante des luminances dans le champ visuel [18]. L'aberration géométrique des optiques et le réglage incorrect de l'instrument sont également causes de fatigue visuelle [72]. Les plaintes sont plus fréquentes dans le travail avec les loupes que dans le travail avec les microscopes stéréoscopiques [73]. La lecture peut entraîner une astreinte oculaire à cause des raies que forment les lignes du texte [74]. Il en est de même avec le faible contraste [75], le

manque de qualité des manuscrits [76], la petite taille des détails à examiner [50] ou la lecture sur microfiches en contraste négatif projetées sur écran métallique [77].

- **Aménagement du poste** : pour la lecture, l'inconfort visuel s'accroît lorsque l'écart augmente entre la distance oeil-document et la distance préférée par l'opérateur [38].
- **Organisation du travail** : la fréquence moyenne des symptômes déclarés par les opérateurs est dépendante de leur durée de travail, que ce soit sur écran [26] [59] [78] [79] [80] [81] [82] [83] ou avec aides optiques [17] [43] [46] [84]. Les plaintes des opérateurs sur écran surviennent après 3 h 20 de travail pour 30 % des opérateurs d'acquisition de données, et après 3 h 30 pour 20 % des opérateurs de saisie [32]. L'irritation palpébrale se manifeste au bout de 4 h de travail consécutif [85]. L'intensité des troubles est également en rapport avec le nombre d'heures de travail et le temps passé à consulter l'écran, journalièrement [42]. Toutefois, ce dernier facteur n'aurait pas une influence majeure sur l'inconfort visuel [86] [87]. Enfin, la fréquence des symptômes subjectifs augmente lorsque le travail sur écran est peu varié [40], pratiqué sans alternance avec d'autres activités [88] ou sans pause [89]. De même, l'astreinte visuelle est plus forte si le travail avec microscope est effectué en continu, plutôt qu'en alternance avec d'autres activités [28]. Chez ces opérateurs, des changements dans le type de travail entraînent une forte diminution des plaintes [90].
- **Conclusion** : de nombreuses relations ont donc été établies, notamment dans le travail sur écran, entre d'une part, l'environnement physique (éclairage inadéquat, rapports excessifs de luminance, air sec), les caractéristiques du support visuel (reflets, manque de netteté, papillotement, petite taille des détails à examiner, etc.), l'organisation du travail (durée, intensité), et d'autre part, les symptômes d'asthénopie. Il est possible que les symptômes oculaires (ex: irritation) soient plutôt liés à l'éclairage du local, et les symptômes visuels (ex: vision trouble), aux caractéristiques de l'affichage [63].

## **2.2 - MODIFICATIONS PHYSIOLOGIQUES**

Dans les paragraphes suivants, différentes modifications fonctionnelles mises en évidence par des méthodes ophtalmologiques seront examinées. Elles concernent le diamètre pupillaire, l'accommodation, les mouvements oculaires, les clignements, la vergence, les phories, la fréquence critique de fusion, l'acuité visuelle, la sensibilité au contraste, les potentiels évoqués visuels. Bien que résultant d'un changement d'accommodation, la myopie transitoire fera l'objet d'un chapitre particulier, étant donné l'importance de la littérature consacrée à cette modification. Sous la dénomination "divers", seront regroupés quelques indices peu utilisés. Pour chacun de ces indices, les facteurs individuels et professionnels qui peuvent accélérer ou accentuer les modifications, seront répertoriés.

### **2.2.1 - Diamètre pupillaire**

#### **Généralités**

Mesuré au moyen d'un pupillomètre, le diamètre pupillaire est contrôlé par 2 groupes de muscles qui provoquent la fermeture ou l'ouverture de l'iris. Une lumière trop intense entraîne une constriction de la pupille (myosis) et une lumière trop faible provoque une dilatation (mydriase). La pupille peut aussi présenter des contractions aléatoires (hippus). Les mécanismes contrôlant la constriction pupillaire, l'accommodation et la vergence, sont intimement liés puisque chacun est capable de contrôler partiellement les deux autres ; l'ensemble de ces 3 fonctions constitue la "triade". La profondeur de champ dépend du diamètre de la pupille. Par ailleurs, l'accommodation et la convergence peuvent entraîner des modifications de cette profondeur de champ. Ainsi, l'accommodation peut produire une constriction pupillaire qui augmente la profondeur de champ et réduit, de ce fait, l'effort accommodatif [5]. Lorsque le diamètre de la pupille s'agrandit, la profondeur de champ se réduit et l'accommodation doit être plus précise [91].

#### **Modifications fonctionnelles**

Une pupille fatiguée se rétrécit [92], ainsi qu'il apparaît après une journée de travail sur microfiches [93]. Cette constriction pupillaire est également observée pour la vision de près, en réponse à un stimulus visuel mobile, après une journée de travail sur écran [94].

### **Facteurs de variation**

Le diamètre pupillaire se réduit avec l'âge, le manque de sommeil ou l'ennui [6]. Des facteurs tels que la stimulation psychique, la concentration mentale, l'anxiété, l'attention, la motivation et les émotions peuvent faire varier la taille de la pupille [95]. Il existe une variation circadienne de la surface pupillaire [6]. La réponse pupillaire à un stimulus mobile en vision de près est asymétrique entre l'oeil droit et l'oeil gauche, notamment après un travail sur écran [94].

Le bruit peut entraîner une dilatation de la pupille ; par rapport à une ambiance calme (environ 60 dB), l'augmentation de diamètre pupillaire est d'environ 5 % à 90 dB [96]. Une stimulation visuelle de courte durée provoque une constriction pupillaire dont l'amplitude dépend de la fréquence spatiale (nombre de raies par degré d'angle visuel) du stimulus [97]. Après 1 h de travail sur écran, le diamètre de la pupille augmente et sa réaction à la lumière diminue si l'écran papillote [98]. Lors de mouvements oculaires entre l'écran, le clavier et le document à saisir, les variations du diamètre pupillaire sont minimales [87], surtout si l'écran est à contraste positif [99]. En effet, lors du travail sur écran à contraste négatif, la pupille est légèrement plus dilatée que lors du travail sur écran à contraste positif [91] ; le risque d'éblouissement est donc accru. D'un point de vue ergonomique, le contraste positif est donc plus adéquat pour la fonction pupillaire que le contraste négatif [100]. Des changements du diamètre pupillaire sont également observés lorsque le sujet regarde une image présentant un effet de relief [101].

### **Pertinence de l'indice**

La constriction pupillaire est un indicateur imparfait de la fatigue visuelle [102], bien qu'elle se révèle être un meilleur indice que le temps de réaction, la fréquence de clignement ou la fréquence critique de fusion [93]. Les changements du diamètre pupillaire ne constituent pas un indice permettant de prédire de manière sûre, la fatigue générale, la gêne ou la fatigue oculaire des opérateurs sur écran [103]. Les changements du diamètre reflètent plutôt l'effort cognitif associé à certaines activités [95]. Ainsi, l'accroissement d'attention s'accompagnerait d'une dilatation pupillaire [104]. L'amplitude de cette dilatation et sa vitesse de variation traduisent le niveau d'effort mental requis pour l'accomplissement de la tâche [105]. La variation du diamètre pupillaire est donc plutôt un indicateur objectif de fatigue mentale [106] [107]. Toutefois, étant donné que le diamètre pupillaire, l'accommodation et la vergence sont interdépendants, il est recommandé de mesurer ce diamètre lors de mesures d'accommodation [5].

## **Conclusion**

Les études qui prennent en compte le diamètre pupillaire sont peu nombreuses. Sa mesure est parfois utilisée pour juger de l'astreinte due à la polarité de l'écran. La taille pupillaire diminue après un travail sollicitant la vision, mais elle augmente avec la charge mentale. Le diamètre pupillaire est plus un indicateur de fatigue mentale que de fatigue visuelle, mais il devrait être pris en compte lors de mesures d'accommodation.

### **2.2.2 - Accommodation**

#### **Généralités**

L'accommodation est une fonction de l'oeil qui permet de voir net des objets situés à une distance déterminée, par changement de courbure du cristallin. Elle survient quand le regard se déplace d'un objet situé à une certaine distance, à un autre situé à une distance différente. L'accommodation sur une cible immobile n'est pas stable; elle présente des microfluctuations dont l'amplitude diminue avec l'âge [108]. Plusieurs paramètres peuvent être examinés pour caractériser l'accommodation : le punctum proximum d'accommodation ou PPA (distance minimale pour laquelle un texte est vu nettement), la précision de la focalisation, le point de focalisation dans l'obscurité (dark focus), le temps d'accommodation, l'amplitude d'accommodation (différence en dioptrie entre le PPA et le punctum remotum qui est le point de l'espace le plus éloigné pouvant être vu nettement sans accommodation), les fluctuations de l'accommodation. Le PPA peut être mesuré avec un proximètre, et l'ensemble de ces indices, avec un optomètre (à laser, à infrarouges...) ou un réfractomètre dynamique.

#### **Modifications**

- *Punctum proximum d'accommodation* : le PPA augmente au cours d'une journée de travail passée à inspecter des bouteilles [109] ; il en est de même après une journée de travail sur microfiches [110] [111], ou avec microscope [28] [112] [113] [114], notamment en câblage [18]. Ce phénomène se manifeste également après un travail sur écran, qu'il soit de 8 h [88], de 2 h [65] ou même de 60 min [115]. Il s'observe notamment en saisie de données [60]. Cependant, l'augmentation est la même en fin de journée chez les employés de bureau que chez les opérateurs sur écran [31]. Elle peut être de 1 à 4 cm après 8 heures de travail (figure 2a).



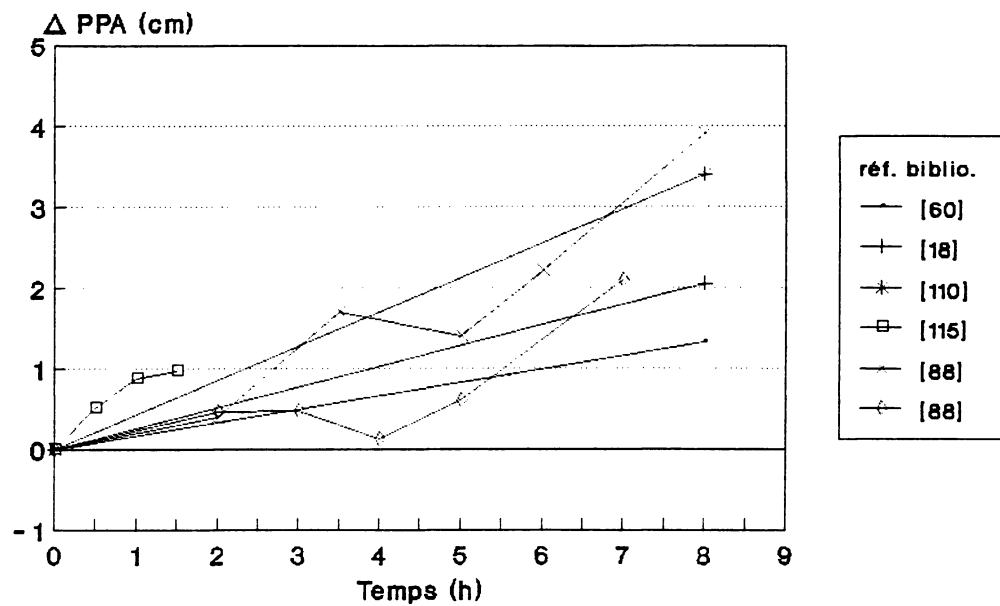


Figure 2a: modifications du PPA ( $\Delta$ PPA) entre début et fin de travail, en régime intensif (cm = centimètres, h = heure) selon différentes sources bibliographiques

- *Précision de la focalisation* : après 2 h de contrôle aérien sur écran, l'accommodation devient plutôt myopique pour des stimuli éloignés, et plutôt hyperopique pour des stimuli proches [116]. Les mêmes modifications apparaissent après 6 h de travail de saisie sur écran [117].

- *Focalisation dans l'obscurité* : le point de focalisation dans l'obscurité se rapproche de l'oeil après un travail d'une journée sur écran [118] ou même de 2 h [116], après 1 h de lecture sur papier [119] ou après une tâche avec une cible distante de 30 cm [120]. Cette augmentation de l'accommodation peut atteindre 1 dioptrie mais peut également rester inférieure à 0,2 dioptrie (figure 3). En effet, cette modification n'est pas toujours observée en fin de travail [79] [121] [122].

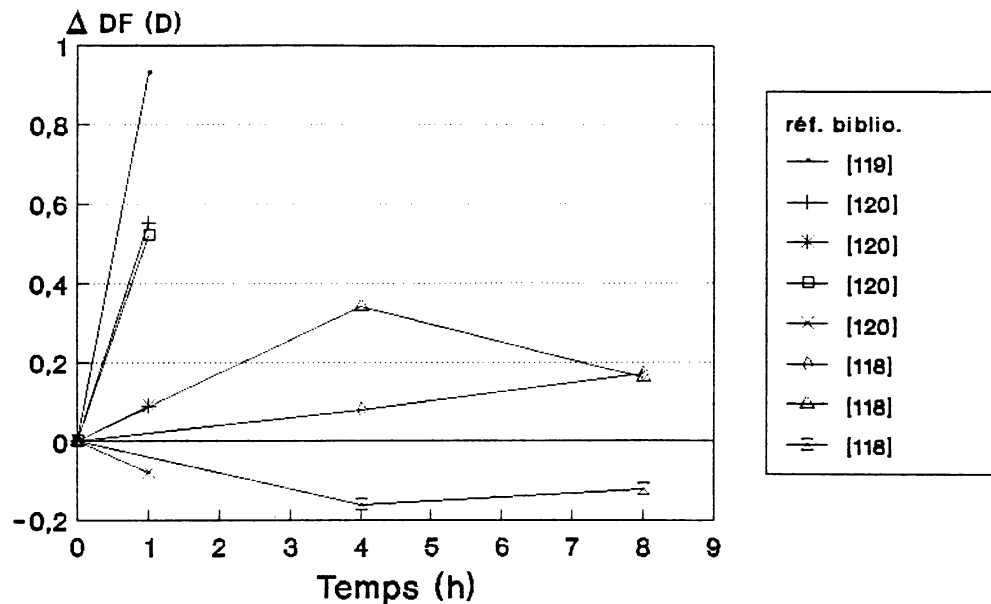


Figure 3: Modifications du "dark focus" ( $\Delta DF$ ) entre début et fin de travail (D= dioptrie, h= heure)

selon différentes sources bibliographiques

- *Temps d'accommodation* : par comparaison avec la même tâche effectuée sur papier, l'utilisation de l'écran entraîne une augmentation du temps d'accommodation sur un point proche puis sur un point éloigné et vice versa [123]. Ce temps est plus court avec un contraste positif qu'avec un contraste négatif [100]. Le temps de relaxation de l'accommodation s'allonge avec la durée de travail sur écran [124], même après seulement 1 h [125].

- *Amplitude d'accommodation* : chez des opérateurs sur écran, l'amplitude d'accommodation diminue en fonction du temps de travail [94] [126], notamment pour l'oeil directeur (oeil dont la fonction visuelle ou motrice prédomine en vision binoculaire) [127].

- *Fluctuations* : les fluctuations de l'accommodation sont plus grandes après un travail sur écran [128]. Leur bande de fréquence se déplace vers des fréquences plus basses, au cours de ce travail. Le pourcentage de ces basses fréquences (0-1,5 Hz) augmente [127] [129], dès la première heure de travail, mais pas après celle sur texte imprimé. Le retour à la valeur de départ se fait après 30 min de repos [58].

### Facteurs de variation

Le point de focalisation dans l'obscurité est soumis à un rythme circadien [130]. Il est très variable selon les individus [6], ainsi que d'un jour à l'autre pour un même individu [131]. Le PPA présente également un rythme circadien ; l'accommodation augmente de 8h à 20 h et baisse ensuite de 20h à 8 h [132].

D'autre part, des différences de PPA mesurées avant le travail ont été relevées entre l'été et l'hiver [133]. Dès l'âge de 40 ans, la faculté d'accommodation diminue [134] et l'éloignement du PPA est plus marqué en fin de journée [135] [136]. Le PPA de l'oeil directeur est plus éloigné que celui de l'autre oeil après 1 h de travail sur écran [127]. Après 1 h de lecture sur écran ou sur papier, le point de focalisation dans l'obscurité est le plus rapproché chez les sujets qui ont une position de repos initiale éloignée ( $< 1$  dioptrie) [119].

L'environnement lumineux peut modifier l'accommodation. Ainsi, le temps d'accommodation augmente lorsque l'éclairement diminue de 550 lx à 55 lx [137]. Le recul du PPA est corrélé à l'insuffisance d'éclairage [34]. Le niveau moyen de l'accommodation s'accroît lorsque les luminances augmentent dans le champ visuel périphérique [138]. Les lumières à forte dominance chromatique entraînent une fatigue accommodative [139].

Les caractéristiques de l'affichage peuvent également modifier l'accommodation. La précision de la focalisation sur écran à haute résolution est plus importante que sur écran à faible résolution, du fait de son contraste élevé [140] [141]. Toutefois, lorsque le contraste entre caractères et fond de l'écran augmente, le nombre d'opérateurs présentant une suraccommodation sur une cible située à un mètre de distance, s'accroît après 6 h de travail [142]. Le contraste négatif entraîne un éloignement du PPA [77] et une diminution de l'amplitude d'accommodation [143] plus importantes que le contraste positif, mais ce dernier résultat n'a pas été confirmé [120]. Au cours d'un travail sur écran, le niveau de l'accommodation n'est pas affecté par le manque de netteté des caractères [144] et le PPA n'est pas modifié selon leur fréquence de rafraîchissement [145]. En revanche, leur papillotement pourrait être responsable de l'augmentation des fluctuations de basse fréquence de l'accommodation [146] et de la diminution de l'amplitude d'accommodation [143]. Par ailleurs, cette diminution est plus forte après un travail sur écran si la bande spectrale de la couleur des caractères est étroite au lieu d'être large [126]. Si la distance oeil-écran est de 40 cm, les erreurs d'accommodation sont moindres lorsque les caractères sont de couleur bleue que lorsqu'ils sont rouges sur fond noir [147].

Le microscope à tubes parallèles sollicite moins l'accommodation que celui à tubes convergents [43]. Si le réglage du microscope est imparfait, il peut surcharger l'accommodation [18].

La fréquence spatiale [148] et la taille de l'objet observé [7] influencent l'accommodation.

Lorsque la distance oeil-écran est de 100 cm au lieu de 50 cm, les erreurs d'accommodation des sujets présentant un point de focalisation proche (1,8 - 2,7 dioptries) dans l'obscurité sont plus importantes ; c'est l'inverse pour

ceux dont ce point est éloigné (0,4 - 1,2 dioptrie) [149]. Des changements d'accommodation sont également observés lorsque le sujet regarde une image présentant un effet de relief [101].

Le recul du PPA (voir figures 2a et 2b) et l'augmentation de la focalisation (mesurée en dioptrie) dans l'obscurité sont plus importants quand le travail sur écran est pratiqué sans alternance avec d'autres activités que lorsqu'il est alterné [118]. Le temps d'accommodation s'allonge avec la vitesse et la quantité de travail [150], mais ce temps se réduit si une pause d'une heure est effectuée après 3 h de travail sur écran [123]. Par contre, le PPA n'est pas modifié après un travail discontinu de 4 h sur écran [151] ; il en est de même chez des programmeurs qui utilisent l'écran à une faible fréquence et à leur propre rythme [152] ou chez des opérateurs sur microscope travaillant par intermittence sur ce matériel [28]. Le PPA ne change pas non plus selon la difficulté des tâches effectuées sur écran [153].

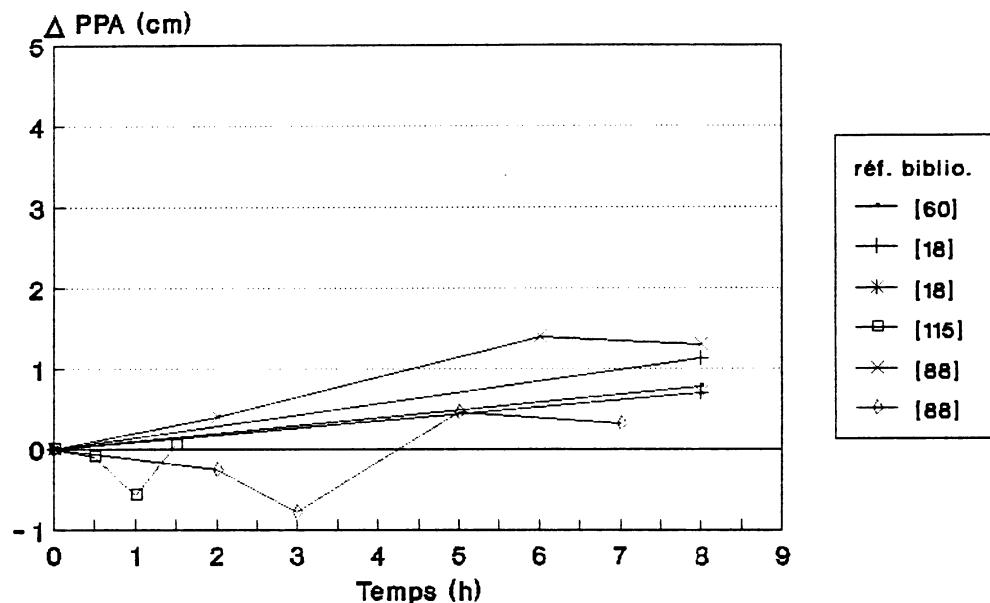


Figure 2b: modifications du PPA ( $\Delta$  PPA) entre début et fin de travail, en régime non intensif (cm = centimètre, h = heure) selon différentes sources bibliographiques

### Pertinence de l'indice

Il existe 2 théories concernant la fatigue d'accommodation : une théorie classique et une théorie plus moderne.

Pour la théorie classique, la fatigue d'accommodation est l'impossibilité de maintenir, pour une cible proche, le muscle ciliaire dans un même état de contraction. La conséquence en serait un déplacement de l'accommodation vers le punctum remotum. Cette théorie prédit que seul le travail visuel prolongé de

près doit produire une fatigue accommodative. La plupart des études sur la fatigue d'accommodation, qui se fondent sur cette théorie, donnent des résultats contradictoires et non concluants.

Pour la théorie moderne, l'accommodation de près et de loin sont des processus qui peuvent être tous les deux sujets à la fatigue. Le point de focalisation dans l'obscurité est la position de repos. L'écart entre la distance à laquelle se situe ce point et celle à laquelle le stimulus est vu, peut engendrer une fatigue visuelle [3]. Toutefois, cela ne constitue pas un argument pour que la distance oeil-tâche soit déterminée par celle du point de focalisation dans l'obscurité. En effet, toute tâche visuelle proche comporte non seulement une accommodation mais également la convergence des axes optiques des 2 yeux sur la zone regardée ; or le point de convergence dans l'obscurité n'est pas à la même distance que le point de focalisation [6].

Les changements d'accommodation sont l'une des mesures de fatigue visuelle les plus sensibles [154] [155], notamment celle du PPA [133]. L'amplitude d'accommodation peut aussi être utilisée avec succès pour estimer la fatigue visuelle [143], de même que la mesure des variations des oscillations de l'accommodation [58], notamment le rapport hautes/basses fréquences [156].

## **Conclusion**

Par rapport aux valeurs de début, il est fréquent d'observer à la fin d'un travail visuel, un éloignement du PPA, une diminution de la précision et un allongement du temps de focalisation, un rapprochement du point de focalisation dans l'obscurité, une réduction de l'amplitude d'accommodation, un déplacement des fluctuations de l'accommodation vers les basses fréquences. Ces modifications peuvent survenir 1 à 2 h après le début du travail. De nombreux facteurs professionnels liés à l'environnement lumineux, aux caractéristiques du support visuel, à la distance oeil-tâche et à l'organisation du travail, influencent cette fonction visuelle. Plusieurs indices tels que le punctum proximum, l'amplitude ou les fluctuations de l'accommodation, peuvent servir à déterminer la fatigue visuelle.

### **2.2.3 - Myopie transitoire**

#### **Généralités**

La myopie transitoire est une modification temporaire de l'accommodation. Elle peut être mise en évidence au moyen de la mesure de l'acuité visuelle ou de la sensibilité au contraste.

### **Modifications**

Une myopisation temporaire peut survenir soit après environ 2h 30 [151], 3 h [69] [82] [157] soit après 6 à 8 h [94] [158] de travail sur écran, et après 1 h [119] ou 2 h [159] dans une tâche en vision de près.

### **Facteurs de variation**

La myopie induite est d'autant plus importante que le point de focalisation dans l'obscurité est éloigné [159]. Il n'existe pas de relation significative entre d'une part la myopisation et d'autre part l'âge, l'asthénopie visuelle ou l'acuité visuelle de moins de 20/20 [56].

La myopisation a tendance à être plus fréquente lorsque l'environnement lumineux se dégrade (rapports de luminance excessifs ou éclairage inadéquat pour la tâche) [56]. La myopie augmente après un travail sur écran à balayage mais pas après celui sur écran avec tube à mémoire, donc sans papillotement [122]. En ce qui concerne la couleur, le bleu ainsi que le vert entraînent une légère myopisation, par rapport au blanc [160]. Il existe aussi une myopie instrumentale lors de l'utilisation d'un microscope ou de jumelles et une myopie nocturne [6].

### **Pertinence de l'indice**

Cette myopie transitoire n'est que de 1/4 de dioptrie [161]. Cet effet se manifeste 1,5 à 7 min après l'arrêt du travail [157] et disparaît après 10 à 15 min de repos [69]. Le phénomène de myopie transitoire traduirait une fatigue d'accommodation [159].

Cette myopie serait provoquée par une charge visuelle excessive [162]. Les modifications de réfraction oculaire peuvent donc fournir un bon indice objectif de la fatigue visuelle induite par le travail sur écran [56].

### **Conclusion**

Une dizaine d'études récentes mettent en évidence, de manière indirecte, une myopie transitoire qui semble dépendre de plusieurs facteurs: papillotement ou couleur bleue de l'objet regardé, environnement lumineux inadapté et surtout, travail en vision rapprochée chez les sujets présentant une focalisation au repos inférieure à 1 dioptrie. L'apparition de la myopie transitoire peut survenir 2 à 3 h après le début du travail. Elle disparaît dans les 10 min qui suivent l'arrêt de ce travail.

## **2.2.4 - Mouvements oculaires**

### **Généralités**

Les muscles externes de l'oeil orientent celui-ci vers un point d'intérêt particulier dans l'espace. Les muscles oculaires sont parmi les premiers à être affectés par une fatigue globale de l'organisme [163]. Les mouvements oculaires peuvent être enregistrés à partir de la réflexion sclérotique (lumière visible, infrarouge, laser) ou de l'électro-oculogramme (EOG).

### **Modifications**

La fatigue peut réduire la vitesse, la durée et l'amplitude des mouvements saccadiques de l'oeil [164]. Il existerait également une fatigue de la fonction de poursuite visuelle (mouvements oculaires lents, réflexe vestibulo-oculaire). La fatigue de convergence affecte les muscles extrinsèques des yeux. Enfin il existe parfois une fatigue des muscles élévateurs des paupières (clignements palpébraux) [163].

Du point de vue méthodologique et technique, il convient de prendre certaines précautions car la mise en évidence de modifications concernant ces mouvements oculaires dépend en particulier des caractéristiques des filtres des appareils d'enregistrement de ces mouvements [165].

L'amplitude des mouvements oculaires de poursuite diminue régulièrement après seulement 6,5 min de poursuite visuelle [102]. De même, une réduction des mouvements oculaires saccadiques apparaît au bout de 30 à 40 min de travail sur écran. Le phénomène s'intensifie avec la durée de travail et réduit la performance de recherche des sujets [166]. Par ailleurs, le nombre des fixations longues, la fréquence de fixation et la durée des saccades augmentent significativement lors de la lecture sur écran, par rapport à la lecture sur document papier [140]. Cependant, les mouvements oculaires ne sont pas systématiquement affectés après le travail [167] [168] [169].

### **Facteurs de variation**

Les mouvements oculaires, particulièrement les saccades, diffèrent selon les individus [170]. D'autre part, la mobilité oculaire varie considérablement au cours du nycthémère [171].

Le bruit engendre une augmentation de la latence des saccades [172].

En présence de lumière intermittente (lumière fluorescente ou affichage sur écran cathodique), la taille des saccades est augmentée ; ce phénomène expliquerait pourquoi la lecture est généralement plus lente sur écran que sur papier [173]. La diminution du contraste d'une cible augmente la latence et diminue la vitesse des mouvements oculaires de poursuite [174]. Le mouvement des objets regardés peut contribuer à la fatigue visuelle, notamment s'ils sont de petite taille, à faible contraste et faiblement éclairés. Ce déplacement des objets

entraîne une activité musculaire plus importante de l'oeil et l'opérateur a alors tendance à raccourcir sa distance de regard [7]. Le type de tâche exerce aussi une influence sur la fréquence des mouvements oculaires [82]. Ainsi, le balayage visuel document-écran est plus important en saisie qu'en dialogue [60]. Certaines tâches nécessitent une forte restriction des mouvements oculaires pour de longues périodes ; la fatigue visuelle due à cette restriction augmente lorsque l'axe du regard s'écarte de sa position de repos [7].

### **Pertinence de l'indice**

La fatigue oculomotrice peut concerner les systèmes de contrôle nerveux de l'appareil oculomoteur; elle est alors localisée dans le système nerveux central. Cette fatigue peut se cumuler à la fatigue neuromusculaire plus périphérique [164]. La fatigue musculaire ne serait donc pas la principale explication de la variabilité de la vitesse saccadique. La fatigue mentale pourrait également être responsable du ralentissement des vitesses saccadiques [175].

L'amplitude des saccades pourrait servir d'indice de fatigue oculaire [176]. D'ailleurs, un indicateur de fatigue visuelle a été élaboré à partir des mouvements saccadiques et de poursuite [177]. L'examen des microsaccades pourrait être utilisé pour la détection des anomalies mineures du système oculomoteur, si le facteur âge en était exclu [178].

### **Conclusion**

D'après les quelques études examinées, les modifications concernant les caractéristiques des mouvements oculaires pourraient survenir 30 min à 1 h après le début du travail. Les mouvements oculaires seraient affectés par le manque de contraste de la cible et le papillotement des sources lumineuses. Une restriction de ces mouvements est source de fatigue visuelle. L'électro-oculogramme peut être utilisé pour l'étude de cette fatigue.

## **2.2.5 - Clignements**

### **Généralités**

Le clignement est un mouvement spontané des paupières. Il est indispensable pour l'intégrité de la cornée car il maintient en permanence le film lacrymal qui empêche son dessèchement. Une réduction de ce film peut donc entraîner un assèchement et une anoxie bénigne de la cornée. Une fréquence de clignement anormalement élevée ou basse peut être liée au syndrome d'irritation oculaire de rougeur ou d'injection de la sclérotique et de la cornée, à la sensation de chaleur et de brûlure de la portion antérieure de l'oeil, et aux maux de tête [5]. La fréquence de clignement est déterminée à partir de l'enregistrement électro-oculographique.



### **Modifications**

La fréquence de clignement palpébral augmente en fin de poste chez des ouvrières sur machines [155], chez des opérateurs à un poste de surveillance [179] ou après 1 h de diverses tâches visuelles sur papier [75] ou de lecture sur écran [169].

### **Facteurs de variation**

La fréquence de clignement est plus élevée chez les sujets jeunes que chez les sujets âgés [123]. Elle diminue donc avec l'âge et également avec l'utilisation de tranquillisants [5].

La fréquence de clignement ne varie pas avec le contraste lors de tâches visuelles sur papier [75]. Par contre, les clignements sont plus nombreux lorsque l'entourage de l'écran est éclairé [78] ou lorsque le papillotement des caractères est perceptible [145]. Les tâches visuelles qui requièrent une attention concentrée, réduisent la fréquence de clignement. Toutefois, un clignement excessif peut être associé à la lecture de textes difficiles [5]. Les tâches exigeantes pour la vue entraînent aussi une diminution de la durée des clignements, par rapport aux tâches qui le sont moins [180].

### **Pertinence de l'indice**

La fréquence de clignement est proposée comme indice de fatigue visuelle dès 1940, mais il est contesté presque aussitôt [181] [182]. La fréquence de clignement pourrait être un indicateur du fonctionnement global des organes de la vision et du système nerveux autonome [183]. Si la fréquence des clignements ne constitue pas un indicateur fiable pour l'étude de la fatigue visuelle, d'autres aspects des clignements spontanés, comprenant leur durée et leur morphologie, pourraient être utilisés pour quantifier cette fatigue [184] [185]. La mesure de l'intervalle de temps entre les clignements peut aussi constituer un indice d'astreinte visuelle [186] [187].

### **Conclusion**

D'après les études examinées, l'augmentation de la fréquence des clignements peut survenir 1 à 3 h après le début du travail. Il semble que les clignements soient plus fréquents lors de fortes variations temporelles et spatiales de luminance dans le champ visuel. Du fait de l'influence de l'attention sur cet indice, son utilisation semble contestable pour l'étude de la fatigue visuelle, à moins d'enregistrer simultanément l'électroencéphalogramme pour éviter toute erreur d'interprétation le concernant.

## 2.2.6 - Vergence

### Généralités

La vergence est le mouvement conjugué des 2 yeux pour que leur axe intercepte le même point. Dans l'obscurité, les yeux convergent vers une position de repos qui est indépendante de celle de l'accommodation [188]. Plusieurs indices concernant la vergence peuvent être recueillis: punctum proximum de convergence ou PPC (point le plus proche permettant d'obtenir une image non dédoublée), point de convergence dans l'obscurité, amplitude de fusion (possibilité de convergence correspondant à une accommodation donnée), temps de convergence ou de divergence. Le PPC est mesuré avec un proximètre et l'amplitude de fusion, avec une barre à prismes de Bérans.

### Modifications

- *Punctum proximum de convergence* : le PPC s'éloigne après une journée de travail sur microfiches [110] ou sur microscope [28] [189]. Il en est de même lorsque le travail sur écran est pratiqué sans alternance avec d'autres activités pendant 6 h [88] ou même après seulement 2 h [190]. Le recul du PPC se situe entre 1 et 5 cm après 8 heures de travail (figure 4a). Cependant, la variation de PPC est la même en fin de journée chez les opérateurs sur écran et les employés de bureau [31].

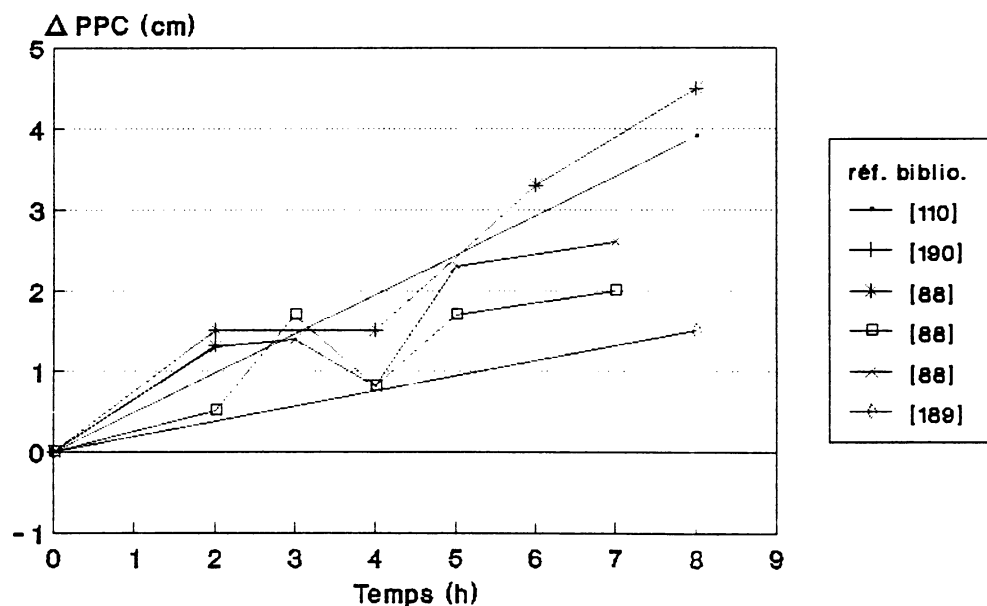


Figure 4a: modifications du PPC ( $\Delta$ PPC) entre début et fin de travail, en régime intensif (cm = centimètre, h = heure)

selon différentes sources bibliographiques

- *Point de convergence dans l'obscurité* : la lecture pendant 1 h, sur écran ou sur papier, entraîne un rapprochement du point de convergence dans l'obscurité [119].

- *Amplitude de fusion* : l'amplitude de fusion diminue après un travail en vision de près [162] comme celui des dentistes [136], ou sur écran pendant 2 h [190]. Après diverses tâches visuelles sur papier, pendant 1 h, les sujets ne peuvent pas diverger autant qu'au début, mais ils peuvent converger davantage [75].

- *Temps de convergence ou de divergence* : le temps de divergence, pour passer d'une cible proche à une cible éloignée, augmente après 2 h de travail sur écran; le temps de convergence pour passer d'une cible éloignée à une cible proche n'est pas modifié [190].

### **Facteurs de variation**

Pour un même individu, le PPC fluctue d'une journée à l'autre [6]. L'insuffisance de convergence serait la cause principale de l'astreinte visuelle chez les personnes âgées de 15 - 49 ans [191], notamment lorsqu'elles travaillent au microscope [17] ; elle pourrait être également responsable de la gêne visuelle des opérateurs sur écran [192]. Un rapprochement du point de convergence dans l'obscurité, au cours du travail, est observé chez les opérateurs sur écran présentant un point de focalisation dans l'obscurité éloigné (> 100 cm) [193]. Le rapprochement est d'autant plus important que la position de repos initiale de la convergence est éloignée [119]. Les personnes présentant un point de convergence éloigné dans l'obscurité ressentent plus de fatigue visuelle après un travail de près prolongé, que les autres [194]. La réponse de la fonction de convergence, à un stimulus mobile en vision de près, diffère entre l'oeil droit et l'oeil gauche, notamment après un travail sur écran [94].

Après un travail sur écran de 2 h, la convergence dans l'obscurité est accentuée lorsque la distance d'affichage est de 40 cm; elle est diminuée lorsque cette distance est de 2 m, puis ces tendances s'inversent [79]. Chez les sujets dont le point de focalisation dans l'obscurité est proche (1,8 - 2,7 dioptries), la convergence dans l'obscurité est légèrement plus prononcée si le travail sur écran est effectué à une distance de 50 cm, plutôt qu'à une distance de 100 cm [149]. Pour des tâches visuelles en vision de près, une élévation du regard accroît l'effort des muscles oculomoteurs pour préserver la vision binoculaire [195]. Le PPC reste stable après un travail sur écran pratiqué pendant 4 heures par intermittence [151]. Le recul du PPC est moindre lorsque le travail n'est pas intensif (figure 4b).

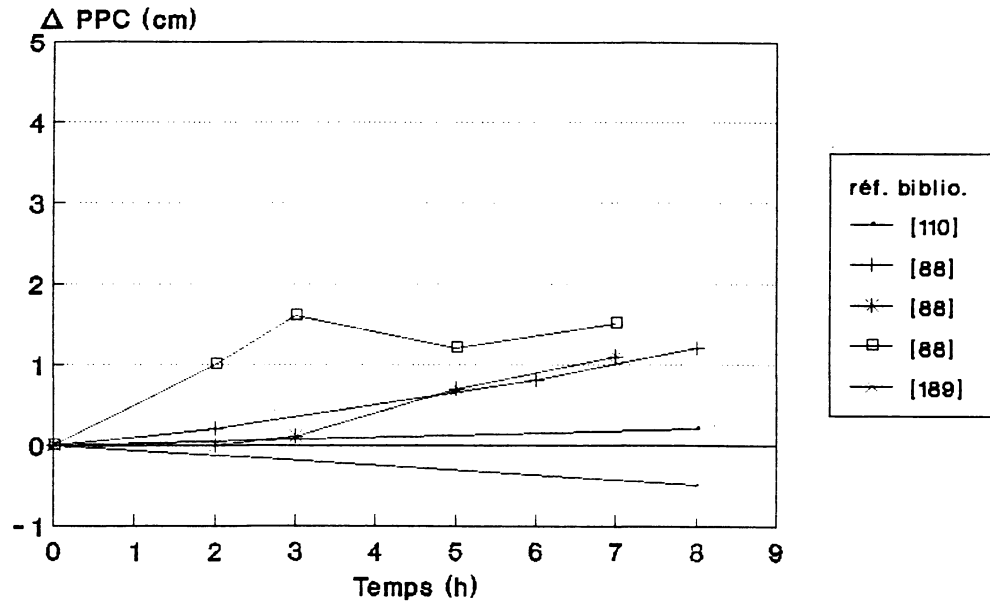


Figure 4b: modifications du PPC ( $\Delta$ PPC) entre début et fin de travail, en régime non intensif (cm= centimètre, h= heure) selon différentes sources bibliographiques

### Pertinence de l'indice

La fatigue visuelle dépendrait de la déviation entre le niveau de repos du système de vergence et l'angle de convergence [196]. En effet, l'effort prolongé de vergence entraîne un rapprochement du point de convergence dans l'obscurité, de la distance oeil-tâche. Ce déplacement peut être considéré comme une adaptation à l'environnement visuel, mais l'effort qu'il demande est coûteux et se traduit par une fatigue visuelle [194].

La contrainte exercée sur la fonction de convergence par le travail sur écran pourrait constituer le facteur crucial de l'astreinte visuelle dans ce travail [149]. Les changements de convergence sont l'une des mesures de fatigue visuelle les plus sensibles [154] [155].

### Conclusion

D'après les études examinées, les modifications de vergence s'expriment notamment par un recul du PPC, un rapprochement du point de convergence dans l'obscurité, une diminution de l'amplitude de fusion. Elles peuvent survenir 1 à 2 h après le début du travail. Certaines modifications apparaissent principalement lors d'un travail visuel de près chez les sujets présentant une focalisation dans l'obscurité inférieure à 1 dioptrie ou un point de convergence au repos à plus de 90 cm. Les mesures du PPC et de l'amplitude de fusion sont pertinentes pour l'étude de la fatigue visuelle.

## 2.2.7 - Phories

### Généralités

La phorie est la position relative des axes visuels des 2 yeux en l'absence de la tendance à la fusion (repos physiologique). Les lignes de regard peuvent être convergentes (ésophorie) ou divergentes (exophorie). La mesure du degré de déviation peut être réalisée à l'aide d'un hétérophoromètre (baguette ou aile de Maddox).

### Modifications

Après un travail sur microfiches, l'exophorie (en vision de loin) s'accroît [110]. Par contre, une augmentation de l'ésophorie est observée en fin de travail chez des couturières [135] et, en vision de près, chez des opérateurs sur écran [158]. Cette modification s'observe même lorsque la durée de travail sur écran est de 5 h [14] ou seulement de 2 h 30 (dont 1 h 30 de travail en vision de près) [159]. Après un travail sur écran de 6 fois 45 min, les opérateurs deviennent moins exophoriques en vision de près et plus ésophoriques en vision de loin; les phories verticales ne sont pas modifiées [11]. Les ésodéviations (déviations vers la convergence) d'au moins 2 dioptries sont plus fréquentes lorsque la charge visuelle augmente [197]. Cependant les modifications journalières des phories de près ou de loin des opérateurs sur écran ne sont pas différentes de celles d'un groupe n'utilisant pas d'écran [11] [31] [54]. Les modifications des phories sont plus importantes en vision de près, où elles peuvent dépasser 3 dioptries, qu'en vision de loin (figure 5). Toutefois, plusieurs auteurs n'ont pas constaté de modification en fonction du temps de travail sur écran [32] [52] [117].

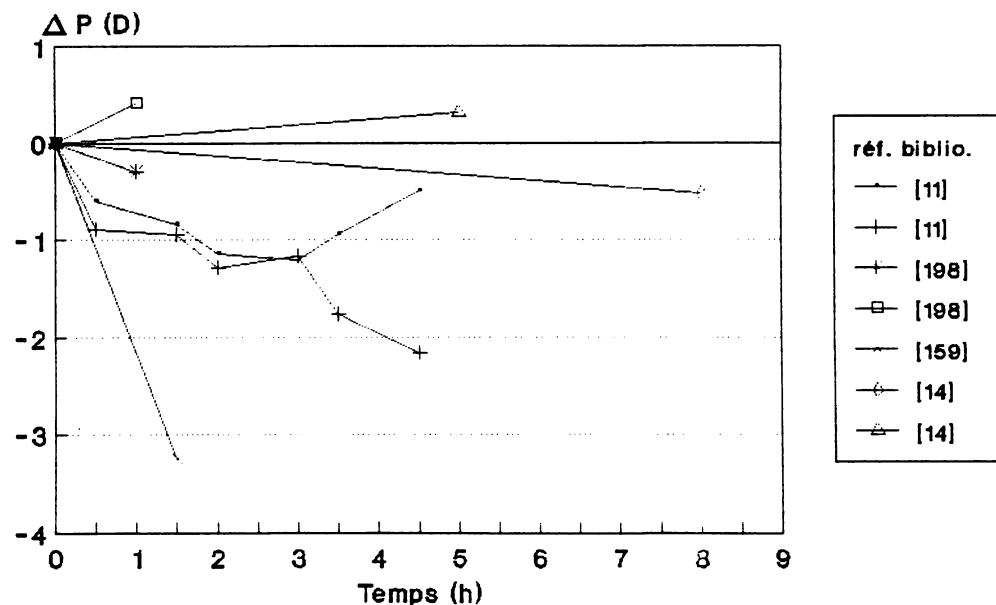


Figure 5: modifications de la phorie horizontale ( $\Delta P$ ) entre début et fin de travail (D= dioptrie, h= heure, -= éso.)

selon différentes sources bibliographiques

### **Facteurs de variation**

Pour un même individu, les phories fluctuent d'un jour à l'autre [6]. Chez les opérateurs sur écran, l'ésophorie entre 20 et 27 ans est plus accentuée qu'entre 40 et 61 ans [11]. Plus l'exophorie initiale est élevée, plus le changement ésophorique est important, notamment après un travail en vision de près [159] [162]. Si la position de repos de la vergence est proche de la tâche, les phories sont moins modifiées [159].

Après 1 h de lecture, la tendance à l'ésophorie est la plus marquée lorsque le contraste [(luminance du fond - luminance des caractères) : luminance des caractères] sur document papier se situe entre 0,39 et 0,75 [75]. Après un travail sur écran, lorsque le papillotement des caractères est perceptible, le déplacement ésophorique (en vision de près) n'existe pas [145] ; il serait même plutôt exophorique [198]. Les phories ne sont pas modifiées significativement si la lecture est pratiquée à 40 cm de distance, au lieu de 20, et sous un éclairage de 500 lx [199].

### **Pertinence de l'indice**

Le changement phorique vise à réduire le "stress" de vergence de la tâche [159]. Aucun auteur semble s'être prononcé sur la pertinence de cet indice.

### **Conclusion**

D'après les études examinées, les modifications des phories peuvent survenir 1 à 5 h après le début du travail. Les ésodéviation sont les plus fréquentes, notamment si l'examen des phories est pratiqué en vision de près. Cependant, dans plusieurs études, le travail n'entraîne pas de modifications. Il semble que le facteur susceptible de provoquer le plus d'ésodéviation soit l'importance de l'exophorie initiale pour un travail en vision de près.

## **2.2.8 - Fréquence critique de fusion (FCF)**

### **Généralités**

La fréquence critique de fusion est définie comme le seuil au-dessus duquel une lumière intermittente apparaît stable et au-dessous papillotante [200]. Elle représente le plus grand nombre d'impulsions que le système rétinocortical peut discriminer par unité de temps [163]. La fréquence critique de fusion se mesure grâce à un fusiomètre. Elle dépend des paramètres physiques de la stimulation lumineuse [201]. La meilleure méthode de mesure est celle où l'opérateur cerne la fréquence limite par approximations successives [200].

## Modifications

La FCF décline après 1 h 30 de travail d'inspection [202], après 6 h de travail sur écran [203], 3 h [204], ou même 1h 30 [115] [124]. Le travail sur écran entraîne une plus grande diminution de la FCF qu'une tâche sur document-papier. La baisse de FCF peut dépasser 3 Hz à la fin du travail (figure 6). La FCF ne varie pas lorsque le travail sur écran est fréquemment entrecoupé de pauses et que les conditions de travail sont optimales du point de vue de l'environnement lumineux et de l'affichage [11]. Il en est de même, parfois, lors du travail au microscope [205] [206].

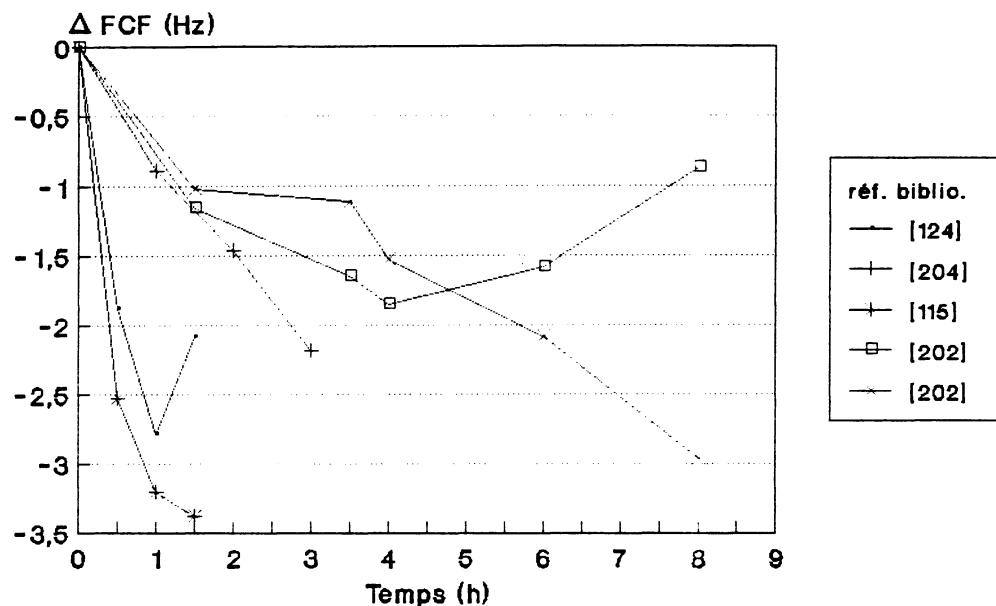


Figure 6: modifications de la FCF ( $\Delta$ FCF) entre début et fin de travail (Hz = hertz, h = heure)

selon différentes sources bibliographiques

## Facteurs de variation

Les valeurs de FCF mesurées avant le travail en été sont différentes de celles d'hiver [133]. La FCF chute avec l'âge [207]. La diminution de la FCF au cours d'une journée de travail d'inspection est plus importante chez les hommes que chez les femmes [109] [208]. Plus la valeur initiale de la FCF est élevée, plus sa chute est importante [202].

Après un travail sur écran, la FCF baisse d'autant plus que les caractères présentent un papillotement perceptible [64] [145] [198] ; il en est de même, si ces caractères sont de couleur rouge ou bleue, par rapport aux couleurs verte ou jaune [209] ou s'ils sont affichés sur un écran à contraste négatif, par rapport au contraste positif [65]. En fin de travail, la diminution de la FCF n'est manifeste

que durant les tâches cognitives à faible ou à fort degré de difficulté [210]. La FCF ne varie pas au cours du travail chez des programmeurs qui utilisent l'écran à une faible fréquence et à leur propre rythme ; elle ne diffère pas non plus chez des opératrices qui effectuent toute la journée un travail de bureau, ou une tâche d'acquisition de données sur écran mais avec pauses [152].

### **Pertinence de l'indice**

La FCF ne semble pas dépendre de récepteurs rétiniens [211]. Une augmentation paradoxale de la FCF a été constatée en fin de journée chez des opérateurs sur écran. Elle serait peut être due à une augmentation de la circulation cérébrale et donc également à une augmentation de la circulation rétinienne [25], amenant ainsi une amélioration de la performance de discrimination visuelle. Ainsi, l'une des causes d'une baisse de FCF serait l'hypoxie [163].

La baisse de FCF pourrait être utilisée comme indice de fatigue visuelle [212] en particulier si le test concerne la partie centrale de la rétine [213]. Cependant, cette baisse semble plus liée à la fatigue générale qu'à la fatigue visuelle [211]. La FCF mesurerait la difficulté globale de la tâche et serait indépendante des conditions visuelles du travail [214]. Elle constitue un test objectif de l'état d'excitabilité du système nerveux central [211]. Une baisse de FCF traduirait une diminution des capacités d'analyse du système nerveux central et non une baisse de performance ou une fatigue du système visuel en lui même. La FCF peut donc être considérée davantage comme un indice de fatigue "nerveuse" globale [163], que de fatigue visuelle.

### **Conclusion**

D'après les études menées, la diminution de la FCF peut survenir 30 min à 1h 30 après le début du travail. Cette baisse de FCF semble liée à sa valeur initiale, au papillotement ou à la couleur rouge ou bleue des caractères et à une charge mentale non optimale. Cet indice paraît plutôt lié à la fatigue nerveuse générale qu'à la fatigue visuelle.

## **2.2.9 - Acuité visuelle**

### **Généralités**

L'acuité visuelle est la capacité de voir nettement les détails d'un objet. L'acuité visuelle statique doit être distinguée de l'acuité visuelle dynamique car les performances de l'une et de l'autre ne sont pas directement liées [215]. L'acuité visuelle statique est le pouvoir de résolution de l'oeil pour un test d'acuité fixe alors que l'acuité visuelle dynamique est le pouvoir de résolution de l'oeil pour



un test d'acuité en mouvement. Ces acuités peuvent être mesurées au moyen de tables d'optotypes (lettres, anneaux de Landolt, E de Raskin, etc.).

### **Modifications**

Dans le travail sur écran, l'acuité visuelle statique est réduite après 3 h de travail [69] [145], même si des pauses sont aménagées toutes les 45 min [11]. Après 1 h de lecture, un tiers des sujets présente une plus faible acuité visuelle statique à une distance d'environ 6 m [119]. Par contre, plusieurs auteurs n'ont pas constaté de modifications en fin de travail sur microfiches [110], ou sur écran [31] [52] [158] notamment lorsqu'il est réalisé par intermittence pendant 4 h [151].

### **Facteurs de variation**

La capacité à distinguer des détails fins diminue avec l'âge lors d'un travail en continu et en vision de près [216]. Chez les dentistes, le manque d'une acuité visuelle statique appropriée à la tâche est une cause probable de fatigue visuelle [136]. L'acuité visuelle de l'oeil directeur diminue avec la durée de travail sur écran ; pour l'autre oeil, la réduction n'est pas significative [127].

Comme l'environnement lumineux, l'environnement thermique exerce un effet sur l'acuité visuelle statique. Ainsi, des ambiances à la fois chaudes et humides et surtout, très chaudes et sèches, entraînent une détérioration de cette acuité, quelle que soit la luminance de fond du test [217]. Cette dégradation provient vraisemblablement de la rupture du film lacrymal sur la cornée [139]. Après un travail sur écran, l'affaiblissement de l'acuité visuelle statique est plus important avec des caractères de couleur verte, qu'avec des caractères de couleur jaune [69] ou si leur papillotement est perceptible, que s'il ne l'est pas [54] [122]. L'acuité visuelle se dégrade lorsque le contraste de la cible diminue [218] et que sa vitesse de déplacement augmente [7].

### **Pertinence de l'indice**

L'acuité visuelle mésopique et l'acuité visuelle dynamique figureraient parmi les tests visuels dont les résultats sont les mieux corrélés aux plaintes asthénopiques [48].

### **Conclusion**

D'après les études examinées, la baisse d'acuité visuelle statique peut survenir 1 à 3 h après le début du travail, mais cette baisse n'est pas systématique. Il semble que la sécheresse de l'air, le papillotement des caractères et la vitesse de déplacement de la cible soient d'importants facteurs de diminution de l'acuité visuelle.

## **2.2.10 - Sensibilité au contraste**

### **Généralités**

La sensibilité au contraste est l'inverse du seuil de contraste minimum perceptible. La sensibilité au contraste peut être étudiée en fonction de la fréquence spatiale ; pour cela, le sujet observe un réseau constitué de raies sombres et claires alternées dont le contraste et l'écartement diminuent. Environ 10 à 15 % de la population présenterait une faible sensibilité au contraste pour les fréquences spatiales inférieures à 8 cycles/degré [219]. La plus grande sensibilité est obtenue avec les fréquences spatiales de 3 - 5 cycles/degré [158] [220] [221] [222]. La sensibilité au contraste peut se mesurer à partir d'une table d'optotypes à contraste variable. La meilleure méthode pour la reproductibilité et la préservation des différences individuelles, est celle où le contraste augmente [223].

### **Modifications**

La sensibilité au contraste diminue au cours du travail sur écran [224], par exemple, après 3 h [157]. Elle chute également après 30 min de lecture sur document papier [225] ou seulement 10 min lorsque cette lecture est intensive [226]. Elle peut affecter les fréquences spatiales de 2 à 7,9 c/° [227] et celles de 0,5 ou de 12-16 c/° ; dans ces conditions, les diminutions sont de l'ordre de 15 à 25 % [225]. Il n'existe cependant pas de différence entre utilisateurs d'écran et non utilisateurs lorsque la durée de travail est de 6-8 h [158]. La sensibilité au contraste spatial n'est pas modifiée entre début et fin de travail lorsque celui-ci est fréquemment entrecoupé de pauses et exécuté dans des conditions optimales d'éclairage et d'affichage [11].

### **Facteurs de variation**

Les personnes âgées d'environ 75 ans ont besoin d'un contraste plus élevé pour distinguer des grilles de fréquences spatiales faibles ou moyennes, que des personnes d'une vingtaine d'années [228].

Les ambiances chaudes et humides et très chaudes et sèches affectent d'autant plus la sensibilité au contraste que les fréquences spatiales sont élevées ; les modifications apparaissent au bout de 30 min d'exposition à ces ambiances [229]. La sensibilité au contraste est réduite quand les sujets sont éblouis [221] ou lorsque le papillotement des caractères est perceptible [145]. Les écrans à faible résolution entraînent des modifications plus importantes de la sensibilité au contraste pour les fréquences spatiales inférieures à 6 Hz, que les écrans à haute résolution ou les documents papier [141].

### **Pertinence de l'indice**

L'adaptation à la fréquence spatiale fondamentale des lignes d'un texte présenté sur écran fournirait une explication unique pour une grande variété de plaintes chez les opérateurs sur écran [226]. La sensibilité au contraste a été reconnue comme étant un indice significatif de la fonction visuelle et un indicateur de troubles visuels [230].

### **Conclusion**

D'après les études examinées, la perte de sensibilité au contraste peut survenir 10 à 30 min après le début du travail. La sensibilité au contraste est moindre après exposition à la chaleur ou éblouissement. Elle semble également affectée par le papillotement et le motif de "raies" des textes, qu'ils soient sur écran ou sur document papier.

### **2.2.11 - Potentiels évoqués visuels (PEV)**

#### **Généralités**

Les PEV reflètent la réponse de la région occipitale du cerveau à une stimulation visuelle. Le recueil des PEV s'effectue à partir de l'électroencéphalogramme, par sommation des effets d'un grand nombre de stimulations successives.

#### **Modifications**

L'amplitude des PEV diminue fortement après 1 h de travail sur écran [231]. La latence de l'onde P-100 des PEV augmente avec l'accroissement de la charge visuelle [125]. Cependant, certains auteurs n'ont pas constaté de modifications des PEV en fin de travail [25] [232]. Ainsi, les ondes principales et tardives des PEV directs et indirects ne seraient pas modifiées en fin de journée [25].

#### **Facteurs de variation**

Des changements dans les composantes des PEV apparaissent avec l'âge ; l'amplitude des ondes et donc la réactivité cérébrale aux stimuli est moindre chez des sujets âgés de 50 - 53 ans que chez ceux de 15 - 18 ans [233].

Une réduction du contraste sur papier entraîne une augmentation de la latence du PEV [234]. Le manque de netteté des caractères augmente la latence de l'onde P-300 [235]. L'amplitude des PEV est plus faible lorsque les symboles sont de couleur rouge sur fond vert que lorsqu'ils sont de couleur rouge ou bleue sur fond noir [147]. Après 30 min, la latence du pic P-100 est plus grande avec un affichage en 3 dimensions (3D) sur écran qu'avec celui en 2 dimensions. Un affichage "stéréoscopique" sur écran d'ordinateur, notamment de faible luminance, pourrait donc entraîner une fatigue visuelle [236].

### **Pertinence de l'indice**

Les changements affectant les composantes des PEV reflèteraient les fluctuations de quantité des neurotransmetteurs cérébraux disponibles au niveau des synapses neuronales [233]. L'amplitude du PEV s'avère sensible à la charge de travail. Ainsi, quand l'effort d'accommodation augmente, l'amplitude du PEV diminue. Les PEV pourraient donc servir comme indicateurs objectifs de la fatigue visuelle [213] [236] puisqu'ils reflètent, avec une grande sensibilité, la qualité de l'image rétinienne.

### **Conclusion**

Les facteurs actuellement reconnus comme pouvant entraîner des modifications des PEV sont le manque de netteté et de contraste de l'image ainsi que l'effet de perspective. L'amplitude du PEV et la latence des ondes précoces semblent les 2 paramètres pertinents de cet indice.

### **2.2.12 - Divers**

#### **Sécrétion lacrymale**

Le pourcentage d'opérateurs présentant une réduction de la sécrétion lacrymale, augmente avec la durée de travail sur écran. Ce phénomène expliquerait certaines de leurs plaintes [237].

#### **Eblouissement**

La réaction à l'éblouissement constitue un indice complémentaire d'autres indicateurs visuels permettant de déceler des difficultés d'adaptation visuelle lors de l'utilisation intensive d'un écran de visualisation [45]. Le test d'éblouissement maculaire serait l'un des tests visuels dont les résultats sont les mieux corrélés aux plaintes [48].

#### **Sensibilité au papillotement**

La sensibilité de l'oeil au papillotement diminue pour certaines fréquences de stimulation après 4 heures de travail, chez des opérateurs chargés de visualiser des films; par contre, elle reste stable chez des employés de bureau [29].

#### **Vision des couleurs**

Les résultats obtenus au test de vision des couleurs d'Ishihara sont parfois corrélés avec les troubles visuels. En effet, certains contrastes de couleur sont difficiles à percevoir chez les sujets présentant une déficience de la vision des couleurs ; cela peut donc accroître leur fatigue visuelle [238].

### **Phénomène de Troxler**

L'adaptation locale de la rétine, ou phénomène de Troxler, se manifeste par la disparition d'un stimulus visuel dans la périphérie de la rétine lorsque le sujet fixe attentivement un point du champ visuel. Ce phénomène se traduit également par la désaturation d'une cible colorée [239], notamment si les sujets ont été stimulés avec la partie complémentaire du spectre [240]. Ces phénomènes seraient accélérés par la fatigue visuelle.

### **Chromatopsie complémentaire (ou effet Mc Collough)**

L'effet Mc Collough se caractérise par la perception d'une couleur "fantôme" complémentaire de celle de l'objet observé. Il a été mis en évidence par cet auteur en 1965 [241]. Ce phénomène peut survenir après seulement 3 min d'exposition au stimulus [242]. Après l'arrêt de la stimulation, l'effet décroît rapidement durant les 12 premières minutes mais il peut se prolonger pendant plus de 2 heures, parfois même pendant plusieurs jours [243]. Les termes "couleur fantôme" et "post-effet" semblent plus appropriés que celui de post-image [244]. Les personnes présentant l'effet ne se différencient pas des autres en ce qui concerne les heures de sommeil avant le test, la consommation de café, l'âge, le temps passé à consulter l'écran, les défauts de réfraction [242]. L'apparition de cet effet n'est pas en relation avec des problèmes oculaires antérieurs [242] [245].

Dans le travail sur écran, l'effet Mc Collough se traduit par la perception d'une couleur jaune avec l'emploi d'écrans à caractères bleus, et d'une couleur rouge avec des caractères verts. L'effet ne se manifeste pas avec l'utilisation d'écrans à caractères noirs, blancs, ambres [242] ou polychromes [246]. Cet effet ne surviendrait également que lorsque les caractères ont une luminance trop élevée [247]. Il n'est pas associé à une utilisation prolongée du terminal à écran [242].

Si l'un des yeux est masqué, la chromatopsie complémentaire peut se produire uniquement avec l'autre oeil; le phénomène serait donc rétinien [248]. Cependant, il peut aussi se transférer d'un oeil à l'autre [244]. Par ailleurs, la durée, ainsi que la force de l'effet, sont influencées par les substances à action cérébrale inhibitrice et excitatrice [242]. Le phénomène serait donc également cortical.

L'effet Mc Collough a été envisagé comme test de fatigue visuelle et cérébrale [242], mais comme il ne peut survenir que dans certaines conditions, son utilité est réduite.

## **Conclusion**

Quelques études mettent en évidence ce phénomène qui semble indépendant de la durée de travail sur écran et qui, généralement, disparaît très rapidement. Des caractères à forte luminance, de couleur bleue ou verte, seraient le facteur déclenchant. Cet indice ne semble pas approprié pour l'étude de la fatigue visuelle, excepté peut être pour celle des opérateurs travaillant sur écran à caractères bleus ou verts.

### **2.2.13 - Conclusion générale**

Les tests les plus sensibles pour la mise en évidence de modifications physiologiques en relation avec la fatigue visuelle sont ceux concernant l'accommodation, la vergence, la sensibilité au contraste et les PEV. Les tests portant sur l'acuité visuelle, les phories et les mouvements oculaires sont un peu moins fiables que les précédents. Ceux basés sur le diamètre pupillaire, les clignements et la fréquence critique de fusion, ne paraissent pas uniquement d'ordre visuel et ne sont donc pas spécifiques de la seule fatigue visuelle.

## **2.3 - PERFORMANCE VISUELLE**

### **Généralités**

La performance visuelle est la capacité d'accomplir une tâche visuelle. En psychophysique, elle est jugée sur la capacité à repérer, par exemple, l'orientation de l'ouverture des anneaux de Landolt pour un temps et un contraste donnés. La performance dans une tâche visuelle a fait l'objet de modèles quantitatifs. Ils ont été réalisés à partir des caractéristiques des mouvements oculaires [249] [250].

### **Modifications**

Le taux d'erreur dans la détection de l'orientation de l'ouverture d'anneaux de Landolt augmente pendant 4 h chez des ouvrières sur machine dans l'industrie textile [155]. L'efficacité de contrôleurs chargés de vérifier la qualité de rondelles défilant sur un convoyeur, diminue de 5 % après 40 min ; ensuite la baisse est presque constante de 3 à 4 % par périodes de 10 min [251].

### **Facteurs de variation**

La performance visuelle est détériorée après un repas riche en glucides [252] et durant la période prémenstruelle chez la femme [253]. La performance est maximale pour un contraste d'environ 0,75 [calculé d'après la formule : (luminance du fond - luminance des caractères) : luminance des caractères] sur document papier. Dans de nombreux cas, elle présente une légère diminution lorsque ce contraste est de 0,87 [75]. Par ailleurs, le temps de recherche diminue lorsque la netteté des caractères imprimés augmente; ce paramètre semble plus important que le contraste [254]. La vitesse de correction de textes est plus faible [11] et le temps de recherche

d'une information est plus long [255] sur écran que sur papier, surtout si la résolution de l'écran est faible [141]. La différence de vitesse de lecture entre ces 2 supports est due en fait à la combinaison de plusieurs facteurs tels que la polarité, la qualité de l'image, la police et la couleur des caractères [256]. Le temps de recherche diminue lorsque la luminance des caractères augmente; il atteindrait son minimum pour une luminance de 27 cd/m<sup>2</sup>, avec une luminance de fond de 1 cd/m<sup>2</sup> et un éclairage de 400 lx au niveau du plan de travail [257]. Pour d'autres, ce temps augmente légèrement lorsque le contraste (calculé d'après la formule : luminance des caractères sur luminance du fond) dépasse 25 [258].

Que ce soit sur papier ou sur écran, il existe donc une fourchette optimale de contraste pour laquelle la performance est maximale. La vitesse de lecture est généralement plus faible en contraste négatif qu'en contraste positif, que ce soit sur microfiche ou sur écran [77]. D'autre part, le temps de recherche d'une information sur écran est légèrement plus grand quand les caractères sont bleus, au lieu d'être rouges, sur fond noir, pour une distance oeil-écran de 40 cm [147]. Lorsque la paroi intérieure de l'oculaire d'un microscope est éclairée, la performance visuelle n'augmente que légèrement, bien que cela soit jugé comme étant plus confortable [259].

### **Pertinence de l'indice**

Le temps nécessaire pour percevoir correctement des anneaux de Landolt à 2 distances constitue un indice de fatigue visuelle pertinent [260]. Le temps de réaction, pris comme indicateur de fatigue, est sensible à la charge de travail et augmente avec l'effort d'accommodation [231].

### **Conclusion**

La performance visuelle est un indice qui est peu utilisé pour la mise en évidence de la fatigue visuelle. Pourtant le test offre l'avantage de ne pas engendrer d'artefacts de mesure puisqu'il peut être facilement intégré à la tâche, ou constitué par la tâche elle-même. De plus, contrairement aux autres tests, il s'intéresse au résultat final de l'effet de la fatigue visuelle.

### **3 - CORRELATIONS ENTRE INDICES**

Dans les paragraphes suivants, les corrélations entre les différents indices (symptômes subjectifs, modifications physiologiques, performance) seront examinées.

#### **3.1 - CORRELATIONS ENTRE SYMPTOMES SUBJECTIFS ET MODIFICATIONS PHYSIOLOGIQUES**

Généralement, les symptômes subjectifs et les modifications physiologiques ne sont pas corrélés significativement [29] [79] [87] [103] [261] [262]. Seuls quelques auteurs ont pu établir des relations entre ces 2 catégories d'indices. Ainsi, la diminution de la fréquence critique de fusion est corrélée à l'item d'autoévaluation "davantage fatigué" chez des contrôleurs aériens durant la nuit [203]. Les plaintes visuelles sont liées à la diminution des performances visuelles (PPA, PPC, phories, etc.) dans un travail de près [84]. Des corrélations ont été établies entre d'une part, les troubles visuels et d'autre part, la FCF, la sensibilité au contraste [145], les modifications de la vergence dans l'obscurité [119], la myopisation [56] ou la variation du PPA [34].

#### **3.2 - CORRELATIONS ENTRE MODIFICATIONS PHYSIOLOGIQUES ET PERFORMANCE**

Le taux de rejet de bouteilles défectueuses par des contrôleurs est lié à leur FCF [132]. Par contre, la FCF et la performance ne varient pas de la même façon au cours de la lecture [211]. L'acuité périfovéale de sujets âgés de moins de 30 ans est corrélée significativement à leur performance de tri [263]. Des corrélations significatives ont été obtenues entre les erreurs accommodatives et la baisse de performance visuelle lorsque les caractères sont de couleur rouge sur fond noir et lorsqu'ils sont vus à 40 cm de distance. D'autres ont été relevées entre l'amplitude des PEV et la performance visuelle quand les caractères sont bleus sur fond noir, pour la même distance [147].

#### **3.3 - CORRELATIONS ENTRE DIVERSES MODIFICATIONS PHYSIOLOGIQUES**

Au cours d'une tâche visuelle prolongée, l'acuité visuelle et la FCF décroissent parallèlement [264]. Plus l'acuité visuelle est élevée, plus la FCF est haute [265]. Une baisse d'acuité visuelle en vision de loin est corrélée à un rapprochement du point de focalisation dans l'obscurité, mais pas à un changement du point de vergence dans l'obscurité [119]. Le diamètre de la pupille influence la FCF [163]. Quand l'accommodation augmente, la convergence et l'ésophorie augmentent également [158]. Il existe une corrélation entre un PPC éloigné et une exophorie importante chez des opérateurs sur microscope [43]. La durée de relâchement de l'accommodation tend à être corrélée négativement avec l'amplitude du PEV et positivement avec sa latence [125].



### **3.4 - CORRELATIONS ENTRE SYMPTOMES SUBJECTIFS ET NON VISUELS**

Le sentiment de monotonie est lié à la fréquence des troubles visuels chez les opérateurs sur microscopes [43]. Ces troubles sont corrélés aux affections cutanées [42] et aux autres symptômes tels que les douleurs musculaires, que ce soit sur écran [21] [40] ou avec microscope [19].

### **3.5 - CONCLUSION**

Des corrélations ont rarement pu être établies entre indices subjectifs et objectifs. Cette absence fréquente de corrélations entre ces 2 catégories de symptômes peut provenir du choix de la méthode utilisée ; en effet, le questionnaire prend en compte une certaine durée de travail alors que l'examen ophtalmologique se fait à un instant donné. L'examen des modifications concernant les fonctions visuelles révèle qu'elles surviennent généralement avant l'apparition des plaintes. Toutefois, les relations entre ces deux catégories d'indices sont peut être plus complexes qu'il n'y paraît, ainsi qu'en témoigne une étude japonaise [127]. Ses auteurs constatent qu'une modification des fluctuations de l'accommodation et une diminution d'amplitude accommodative précèdent l'accroissement des plaintes, lequel est ensuite suivi d'une baisse d'acuité visuelle. Par ailleurs, la relation entre modifications physiologiques et performance, n'est pas toujours présente [12]. Certaines relations existent entre indices physiologiques ; ainsi, l'accommodation, la vergence et le diamètre pupillaire sont liés ; de même que la FCF, le diamètre pupillaire et l'acuité visuelle. Enfin, le lien entre fatigue visuelle et fatigue générale apparaît dans plusieurs études, la première pouvant induire la seconde, et vice versa [2].

## **4 - PERSISTANCE DE LA FATIGUE VISUELLE**

### **4.1 - FATIGUE VISUELLE APRES LA JOURNEE DE TRAVAIL**

Les troubles visuels se prolongent après la fin du travail chez 35 % des couturières [135]. Chez des opérateurs sur écran, ou avec microscope, ces plaintes persistent fréquemment jusqu'à l'heure du coucher, les empêchant parfois de regarder la télévision ou de lire [17] [18] [54]. Elles disparaissent 2 h après l'arrêt du travail pour 87 % des opérateurs d'acquisition de données, et 1 h 15 après pour 100 % des opérateurs de saisie [32].

## **4.2 - FATIGUE VISUELLE APRES LA SEMAINE DE TRAVAIL**

Des examens effectués sur des opérateurs travaillant sur visionneuse montrent que le PPC après travail le vendredi, c'est-à-dire après une semaine de travail, est nettement plus élevé que celui mesuré le lundi soir [110]. Un éloignement significatif du PPA et du PPC est également constaté en fin de semaine de travail chez des ouvrières d'un atelier d'horlogerie [266], chez des opérateurs sur écran [267] et chez des soudeurs à l'arc [268]. Le recul du PPA en fin de semaine de travail dépend du niveau d'exigence visuelle de la tâche [34].

## **4.3 - ENQUETES EPIDEMIOLOGIQUES**

Plusieurs enquêtes épidémiologiques ont été consacrées à la vision des opérateurs sur écran. Le nombre, le type et la gravité des plaintes des opérateurs sur écran n'ont pas changé 2,5 ans après une implantation d'écrans [269]. Sur une période de 2 ans, la fréquence des plaintes reste stable, que la tâche soit effectuée sur écran ou sur papier [36]. Etalés sur 5 ans, des examens périodiques de l'acuité visuelle et de la réfraction d'un groupe d'opérateurs travaillant constamment sur écran et d'un autre alternant ce travail avec des tâches de bureau, ne montrent pas de modifications pathologiques au cours du temps [270]. Des mesures d'accommodation et de convergence pratiquées sur un grand échantillon d'opératrices et un groupe de référence ne montrent pas de modifications pathologiques objectivables [271] ; seule la capacité accommodative maximale est plus faible chez les opérateurs âgés de plus de 40 ans travaillant sur écran, que chez leurs homologues non utilisateurs de ce matériel [197]. Les opérateurs sur écran ne présentent pas plus de cataracte que les employés de bureau [39]. Si certains auteurs [272] n'ont pas constaté de tendance à la myopisation de ces opérateurs par rapport aux employés, d'autres ont relevé qu'ils étaient plus myopiques que ces derniers, mais cela serait dû à un phénomène d'auto-sélection [273]. Enfin, le travail sur écran n'augmente pas la fréquence des cas d'hypertension oculaire [27].

## **4.4 - CONCLUSION**

Si les troubles visuels peuvent perdurer plusieurs heures après la journée de travail, ils disparaissent après une nuit de repos. Par contre, certains troubles fonctionnels (recul du PPA et du PPC) sont amplifiés en fin de semaine ; cela dénote une fatigue cumulative. Les mesures ophtalmologiques effectuées jusqu'à présent n'ont pas mis en évidence d'altération pathologique des fonctions visuelles due au travail visuel (sur écran ou avec microscope). Les opérateurs sur écran ne sont pas menacés dans leur vision car les phénomènes sont subcliniques [274].

## **5 - BIAIS METHODOLOGIQUES**

Dans un certain nombre de cas, les résultats des études sont divergents voire contradictoires.

Parmi les divers facteurs pouvant expliquer ces différences, figure la motivation. En effet, elle peut combattre la baisse de performance. Ainsi, des sujets fortement motivés peuvent maintenir une performance élevée pendant de nombreuses heures, même s'ils ressentent de la fatigue [5]. Par ailleurs, les réponses aux questionnaires peuvent être faussées [6]. L'opérateur peut avoir intérêt à ne pas trop se plaindre si le risque de perte d'emploi est grand, ou au contraire chercher les moindres signes d'inconfort si son emploi est protégé par une action syndicale efficace [29]. Le débat actuel sur les effets néfastes de l'utilisation des terminaux sensibilise les opérateurs sur écran aux problèmes liés à la vision. Aussi, quand ils sont interrogés sur ces problèmes, ils peuvent faire état d'une plus grande fréquence de troubles que celle rapportée par les non utilisateurs [275]. Les différences considérables entre les études, concernant les pourcentages des symptômes, peuvent être dues également à la définition de ces symptômes et aux termes employés dans les questionnaires [276]. D'autres biais peuvent également être introduits dans les études. Ainsi, un résultat négatif obtenu avec de petits effectifs n'a aucune portée et ne peut être utilisé pour démontrer l'absence de fatigue [6]. Les résultats controversés à propos d'une plus grande fatigue chez les opérateurs sur écran que chez d'autres catégories d'opérateurs pourrait s'expliquer par le choix de groupes de contrôle à faible ou à forte charge visuelle [277].

### **Conclusion**

De nombreux facteurs peuvent fausser les résultats. Parmi ceux-ci figurent la motivation, le contexte social, le choix des questions posées ainsi que celui du groupe de référence.

## **6 - DISCUSSION ET CONCLUSION**

Cette revue de la littérature révèle l'absence de position commune des auteurs sur un certain nombre de points. C'est le cas pour une éventuelle fatigue des muscles intraoculaires et extraoculaires, ou l'identification de muscles particuliers susceptibles de se fatiguer [12]. La fatigue ne concernerait que les muscles extraoculaires [92] bien qu'il soit difficile de les fatiguer [102]. D'autres auteurs mettent également en cause le muscle ciliaire. La fatigue visuelle serait due à un fonctionnement défaillant de ce muscle et de la coordination des muscles extraoculaires [278]. Elle résulterait de l'augmentation de la tension des filaments des muscles oculaires, avec comme conséquence un aplatissement du cristallin [279]. En fait, il n'existe pas de preuve satisfaisante que les muscles oculaires deviennent excessivement fatigués. Même dans ce cas ils ne pourraient être la cause de la douleur qui est caractéristique de l'astreinte visuelle [280]. Si toutefois les auteurs s'accordent sur l'existence d'une fatigue d'origine

motrice pas toujours mise en évidence de façon irréfutable, l'incertitude demeure quant à l'existence d'une fatigue proprement sensorielle de l'appareil visuel. La part de fatigue éprouvée dans l'astreinte visuelle résulterait de la fatigue des processus mentaux mis en jeu dans l'interprétation d'images troubles et confuses [281]. Les modifications temporaires dans les fonctions oculomotrices pourraient être dues à une fatigue musculaire, une adaptation des organes sensoriels, une habitude du système nerveux central ou une baisse de motivation [5]. L'astreinte visuelle provoquée par les tâches visuelles serait due non seulement à un déclin des fonctions périphériques mais aussi à une réduction de l'activité nerveuse centrale objectivée par la modification des PEV [125].

Ces derniers figurent parmi les tests les plus pertinents pour l'étude de la fatigue visuelle, au même titre que l'accommodation, la vergence et la sensibilité au contraste. La mesure conjointe des réponses pupillaire, accommodative et de convergence constituerait la meilleure méthode pour détecter objectivement la fatigue visuelle [282]. Mais l'évaluation subjective serait également une méthode de choix [283]. Il conviendrait donc de rajouter aux tests fonctionnels, l'enregistrement des symptômes subjectifs et de la performance visuelle, afin de savoir si les éventuelles modifications physiologiques sont pénalisantes pour le confort et l'efficacité des opérateurs. De ce fait, seules 1 % des études répertoriées remplissent ces conditions.

En fait, malgré l'abondance des études concernant la fatigue visuelle, les relations entre la fatigue subjective, les changements oculomoteurs, la performance visuelle et les facteurs motivationnels et attentionnels restent obscures. De plus, rien ne prouve que les changements oculomoteurs soient problématiques pour les opérateurs [5] et qu'ils doivent être considérés comme des signes de fatigue [279]. Ces modifications sont peut être une adaptation à la tâche permettant de minimiser l'effort tout en maintenant une performance suffisante [5]. Par conséquent, il serait préférable d'aborder le problème de la fatigue visuelle en termes de charge visuelle, cette dernière pouvant être considérée comme résultant du rapport entre les contraintes et la capacité du sujet. Pour ce qui concerne les contraintes, la synthèse des informations rassemblées dans cette revue bibliographique permet de préciser qu'il s'agit des rapports de luminance dans le champ visuel de travail entre la tâche et son environnement, des rapports de luminance entre les différentes zones de travail, de la fréquence de balayage visuel entre ces zones, du contraste sur une zone de travail, de la stabilité, la netteté, l'angle visuel, la couleur et la largeur de la bande spectrale de l'image, de la dynamique du regard engendrée par la tâche. Quant à la capacité du sujet, elle dépend de son état visuel, du port de lunettes, de son âge, de sa motivation et de son état de santé. L'importance relative de ces facteurs est conditionnée par la distance œil-tâche et surtout par la durée du travail.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] CASSOU H., FICHEZ R. - La charge visuelle, essai d'évaluation en médecine du travail. *Archives des maladies professionnelles*, 1976, **37**, pp. 169-177.
- [2] DUBOIS-POULSEN A., BESSOU P. - La fatigue visuelle. In : Vision-travail. Colloque international, Rodez-Toulouse, 23 - 25 novembre 1978. Rodez-Toulouse, IRACT, 1978, pp. 109-110.
- [3] VOKE J. - Do VDUs really pose eye problems ? - *Health and Safety at Work*, 1986, **8**, pp. 41-43.
- [4] STONE P.T. - Issues in vision and lighting for users of VDUs. In : PEARCE B. (Ed). - Health hazards of VDTs ?. Chichester, John Wiley and Sons, 1984, pp. 77-88.
- [5] US NATIONAL RESEARCH COUNCIL - Video Displays, Work, and Vision. Washington, National Academy Press, 1983, 273 p.
- [6] DESNOYERS L. - Travail visuel, fatigue visuelle. Paris, Laboratoire d'Ergonomie et de Neurophysiologie du Travail du CNAM, 1987, 48 p.
- [7] FERGUSON D.A., MAJOR G., KELDOULIS T. - Vision at work : visual defect and the visual demand of tasks. *Applied Ergonomics*, 1974, **5.2**, pp. 84-93.
- [8] WESTON H.C. - Sight, Light and Work. London, Lewis H.K., 1962.
- [9] OSTBERG O. - Review of visual strain, with special reference to microimage reading. In : Transactions of the International Micrographics Congress, Stockholm, 1976.
- [10] DUKE-ELDER W.S. - Text-Book of Ophthalmology, 4. London, Kimpton, 1950.
- [11] GOULD J.D., GRISCHKOWSKY N. - Doing the same work with hard copy and with cathode-ray tube (CRT) computer terminal. *Human Factors*, 1984, **26**, pp. 323-337.
- [12] SMITH W.J. - A review of literature relating to visual fatigue. In : BENSEL C.K. (Ed). - Proceedings of the Human Factors Society. 23 rd annual meeting, Boston, 29 octobre - 1 novembre 1979. Santa Monica, Human Factors Society, 1979, pp. 362-366.
- [13] LAHARIE A.M. - Intérêt des visiotests en médecine du travail. Paris, thèse de doctorat en médecine, 1982, 87 p.
- [14] ELIAS R., CAIL F. - Contraintes et astreintes devant les terminaux à écran cathodique. *Les notes scientifiques et techniques*, 1982, **43**, 118 p.
- [15] RATP - Travail sur écran. Paris, rapport de CHS-CT, 1988, 27 p.
- [16] OMS - Visual display terminals and workers' health. Genève, 1987, 206 p.
- [17] SÖDERBERG I., CALISSENDORFF B., ELOFSSON S., KNAVE B., NYMAN K.G. - Investigation of visual strain experienced by microscope

- [18] ELIAS R., CAIL F. - Travail sous binoculaires: astreintes visuelles et posturales. *Cahiers de notes documentaires*, 1984, **117**, ND 1500, pp. 451-456.
- [19] MATOUSEK O., ZELENY A., HLADKY A., PASTA J., FUCHS A. - Visual and physical complaints at work with electron microscopes (traduction). *Pracovni Lekarstvi*, 1986, **38**, pp. 254-260.
- [20] MEYER J.J., REY P., KOROL S., GRAMONI R. - La fatigue oculaire engendrée par le travail sur écran de visualisation. *Médecine sociale et préventive*, 1978, **23**, pp. 295-296.
- [21] LÄUBLI T., HUNTING W., GRANDJEAN E., FELLMANN T., BRAUNINGER U., GIERER R. - Facteurs de charge aux postes de travail devant terminal à écran (traduction). *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde*, 1982, **180**, pp. 363-366.
- [22] GRIGNOLO F.M., BROVARONE F.V., ANFOSSI D.G., VALLI G. - Considerations on ocular motility and refractive errors in VDU operators. In : GRANDJEAN E. (Ed). - *Ergonomics and Health in Modern Offices*. London, Taylor and Francis, 1984, pp. 431-435.
- [23] BERGAMASCHI A., MAGNAVITA N., SCARLINI F. - Visual complaints, eye impairment and VDT exposure: the predictive value of ergoophthalmologic tests. In : *Le Travail à l'Ecran de Visualisation. Deuxième Conférence Scientifique Internationale*, Montréal, 11-14 septembre 1989. Montréal, IRSST, 1989, p. 34.
- [24] RUBINO G.F. - Epidemiologic survey of ocular disorders. The italian multicentric research. In : BERLINGUET L. and BERTHELETTE D. (Eds). - *Work with Visual Display Units 89*. Amsterdam, Elsevier, 1990, pp. 13-20.
- [25] GILET A., GRALL Y., KELLER J., VIENOT P.A. - Le travail sur terminal à écran. Aspects médicaux et ergonomiques. A propos d'une étude sur la fréquence critique de fusion et les potentiels évoqués visuels. *Archives des maladies professionnelles*, 1978, **39**, pp. 357-373.
- [26] SJÖGREN S., ELFSTRÖM A. - Eye discomfort among 4000 VDU users. In : BERLINGUET L. and BERTHELETTE D. (Eds). - *Work with Display Units 89*. Amsterdam, Elsevier, 1990, pp. 21-27.
- [27] GRIGNOLO F.M., DI BARI A., BROGLIATTI B., MAINA G. - Intraocular pressure during VDT work. In : KNAVE B. and WIDEBÄCK P.-G. (Eds). - *Work with Display Units 86*. Amsterdam, Elsevier, 1987, pp. 53-59.
- [28] NYMAN K.G. - An experimental study on visual strain and microscopy work. *Acta Ophthalmologica*, 1984, supplementum **161**, p. 94.
- [29] MEYER J.J. - L'évaluation de la charge visuelle et des risques pour la vue lors de l'utilisation intensive d'un microscope binoculaire. Les travaux à forte exigence visuelle: le cas du travail sous microscope et sous loupe binoculaire. Toulouse, Journées d'études de l'ANACT, 1980.
- [30] SMITH A.B., TANAKA S., HALPERIN W. - Correlates of ocular and somatic symptoms among video display terminal users. *Human Factors*, 1984, **26**, pp. 143-156.

- [31] NYMAN K.G., KNAVE B.G., VOSS M. - Work with video display terminals among office employees, IV. refraction, accommodation, convergence and binocular vision. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, 1985, **11**, pp. 483-487.
- [32] RUBINO G.F., MAINA G., SONNINO A., GRIGNOLO F.M., PESCE F., DI BARI A., MORUZZI F. - Visual impairment and subjective ocular symptomatology in VDT operators. In : KNAVE B. and WIDEBÄCK P.-G. (Eds). - *Work with Display Units 86*. Amsterdam, Elsevier, 1987, pp. 504-511.
- [33] LÄUBLI TH., NIBEL H., SCHWANINGER U., THOMAS C., KRUEGER H. - Visual screening tests, eye symptoms and length of service in VDU operators. In : *Le travail à l'écran de visualisation. Deuxième conférence scientifique internationale*, Montréal, 11-14 septembre 1989. Montréal, IRSST, 1989, p. 51.
- [34] PELLET F., RUL-HERVE C., BERTHEMY-PELLET S., DE GAUDEMARIS R., MOUILLON M., MALLION J.M. - Variation des punctum proximum d'accommodation et de convergence en fonction de la charge visuelle. *Archives des maladies professionnelles*, 1989, **50**, pp. 541-546.
- [35] REY P., BOUSQUET A. - Visual strain of VDT operators: the right and the wrong. In : SMITH M.J. and SALVENDY G. (Eds). - *Work with Computers : Organizational, Management, Stress and Health Aspects*. Amsterdam, Elsevier, 1989, pp. 308-315.
- [36] YEOW P.T., TAYLOR S.P. - The effects of long-term VDT usage on the nature and incidence of asthenopic symptoms. *Applied Ergonomics*, 1990, **21.4**, pp. 285-293.
- [37] COLE B.L., BREADON I.D., SHARPE K., GUEST D.J. - Comparison of the symptoms reported by VDU users and non-VDU users. The sec-VDU study, bulletin 2. Melbourne, Victorian College of Optometry, 1986, 10 p.
- [38] SCHLEIFER L.M., SAUTER S.L., SMITH R.J., KNUTSON S. - Ergonomic predictors of visual system complaints in VDT data entry work. *Behaviour and Information technology*, 1990, **9**, pp. 273-282.
- [39] BÖÖS S.R., CALISSENDORFF B.M., KNAVE B.G., NYMAN K.G., VOSS M. - Work with video display terminals among office employees, III. ophtalmologic factors. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, 1985, **11**, pp. 475-481.
- [40] LEVY F., RAMBERG I.G. - Eye fatigue among VDU users and non-VDU users. In : KNAVE B. and WIDEBÄCK P.-G. (Eds). - *Work with Display Units 86*. Amsterdam, Elsevier, 1987, pp. 42-52.
- [41] PIOLATTO G., DI BARI A., LACQUANITI A., RUBINO G.F. - Health and ocular complaints, factor analysis amongst VDT operators. In : *Le travail à l'écran de visualisation. Deuxième conférence scientifique internationale*, Montréal, 11-14 septembre 1989. Montréal, IRSST, 1989, p. 21.
- [42] KNAVE B.G., WIBOM R.I., VOSS M., HEDSTROM L.D., BERGQVIST U. - Work with video display terminals among office employees, I. subjective symptoms and discomfort. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, 1985, **11**, pp. 457-466.

- [43] TRAVERSE G., BERARD P.V. - Aspects ophtalmologiques du travail sur microscope à binoculaire. Rapport d'étude, 1987, 94 p.
- [44] SMEDSHAMMAR H., FRENCKNER K., NORDQUIST C., ROMBERGER S. - Why is the difference in reading speed when reading from VDUs and from paper bigger for fast readers than for slow readers ?. In : Le travail à l'écran de visualisation. Deuxième conférence scientifique internationale, Montréal, 11-14-septembre 1989. Montréal, IRSST, 1989, p. 29.
- [45] MEYER J.J., BOUSQUET A., SCHIRA J.C. - Plaintes et signes d'éblouissement chez les opérateurs sur écran de visualisation. In : Le travail à l'écran de visualisation. Deuxième conférence scientifique internationale, Montréal, 11-14 septembre 1989. Montréal, IRSST, 1989, p. 113.
- [46] BLOHM I.L. - Importance de l'alternance des tâches et de la courte durée des postes pour réduire les troubles oculaires et musculaires dus au travail sur microscope (traduction). *Arbete-Manniska-Miljo*, 1982, 1, pp. 21-26.
- [47] NISHIYAMA K., NAKASEKO M., UEHATA T. - Health aspects of VDT operators in the newspaper industry. In : GRANDJEAN E. (Ed). - Ergonomics and Health in Modern Offices. London, Taylor and Francis, 1984, pp. 113-118.
- [48] DI BARI A., MAINA G., GRIGNOLO F.M., BOLES CARENINI B. - Ocular complaints and ergophthalmological tests in VDU operators. In : Le travail à l'écran de visualisation. Deuxième conférence scientifique internationale, Montréal, 11-14-septembre 1989. Montréal, IRSST, 1989, p. 20.
- [49] TURNER P.J. - Visual requirements for VDU operators. *Australian Journal of Optometry*, 1982, 65, pp. 58-64.
- [50] KOITCHEVA V., RIZOVA V., ZLATEVA V. - Functional changes in the visual analyze of female personnel in quality control of ampules (traduction). *Probl. Khig.*, 1985, 9, pp. 9-16.
- [51] ERIKSON C., KÜLLER R. - Non-visual effects of office lighting. *Proceedings of the CIE*, 20 th session, 2, 1983, pp. 1-4.
- [52] DAINOFF M.J., HAPP A., CRANE P. - Visual fatigue and occupational stress in VDT operators. *Human Factors*, 1981, 23, pp. 421-438.
- [53] BELLUCI R., MAULI F. - The effects of visual ergonomics and visual performance upon ocular symptoms during VDT work. In : GRANDJEAN E. (Ed). - Ergonomic and Health in Modern Offices. London, Taylor and Francis, 1984, pp. 346-351.
- [54] LÄUBLI TH., HUNTING W., GRANDJEAN E. - Postural and visual loads at VDT workplaces, II. lighting conditions and visual impairments. *Ergonomics*, 1981, 24, pp. 933-944.
- [55] ROSE L. - Workplace video display terminals and visual fatigue. *Journal of Occupational Medicine*, 1987, 29, pp. 321-324.
- [56] GOBBA F.M., BROGLIA A., SARTI R., LUBERTO F., CAVALLERI A. - Visual fatigue in video display terminal operators: objective measure and relation to environmental conditions. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 1988, 60, pp. 81-87.



- [57] HEDGE A., SIMS W., BECKER F. - Lighting the computerized office: a comparative study of parabolic and lensed-indirect office lighting systems. In : Proceedings of the Human Factors Society. 33 rd annual meeting, Denver, 16-20-octobre 1989. Santa Monica, Human Factors Society, 1989, pp. 521-525.
- [58] IWASAKI T., KURIMOTO S. - Objective evaluation of eye strain using measurements of accommodative oscillation. *Ergonomics*, 1987, **30**, pp. 581-587.
- [59] ROSSIGNOL A.Mc K., MORSE E.P., SUMMERS V.M., PAGNOTTO L.D. - Video display terminal use and reported health symptoms among Massachusetts clerical workers. *Journal of Occupational Medicine*, 1987, **29**, pp. 112-118.
- [60] ELIAS R., CAIL F. - Exigences visuelles et fatigue dans deux types de tâches informatisées. *Le travail humain*, 1983, **46**, pp. 81-92.
- [61] DAINOFF M.J. - Visual fatigue in VDT operators. In : GRANDJEAN E. and VIGLIANI E. (Eds). - Ergonomics Aspects of Visual Display Terminals. London, Taylor and Francis, 1980, pp. 95-99.
- [62] STAMMERJOHN L.W., SMITH M.J., COHEN B.G.F. - Evaluation of work station design factors in VDT operations. *Human Factors*, 1981, **23**, pp. 401-412.
- [63] SMITH A.B., TANAKA S., HALPERIN W., RICHARDS R.D. - Report of a cross-sectional survey of video display terminal (VDT) users at the Baltimore Sun. NIOSH, Centers for Disease Control, september 1982.
- [64] GYR S., NISHIYAMA K., GIERER R., LÄUBLI T., GRANDJEAN E. - The effect of various refresh rates in positive and negative displays. In : GRANDJEAN E. (Ed).- Ergonomics and Health in Modern Offices. London, Taylor and Francis, 1984, pp. 359-363.
- [65] MISAWA T., SHIGETA S. - Etude expérimentale de l'influence de la charge de travail sur le rendement de travail au terminal à écran de visualisation : effets de la polarité de l'écran et de la couleur d'affichage (traduction). *Japanese Journal of Industrial Health*, 1986, **28**, pp. 420-427.
- [66] SCULLICA L., RECHICNI C., CUEMANO R., TRINGALI C. - Monitor characteristics and asthenopy in VDT workers. In : Le travail à l'écran de visualisation. Deuxième conférence scientifique internationale, Montréal, 11-14 septembre 1989. Montréal, IRSST, 1989, p. 115.
- [67] NISHIYAMA K., BRÄUNINGER U., DE BOER H., GIERER R., GRANDJEAN E. - Physiological effects of oscillating luminances in reversed display of VDTs. *Ergonomics*, 1982, **25**, pp. 555-556.
- [68] MATTHEWS M.L. - The influence of colour on CRT reading performance and subjective comfort under operational conditions. *Applied Ergonomics*, 1987, **18.4**, pp. 323-328.
- [69] HAIDER M., KUNDI M., WEIBENBÖCK M. - Worker strain related to VDUs with differently coloured characters. In : GRANDJEAN E. and VIGLIANI E. (Eds). - Ergonomic Aspects of Visual Display Terminal. London, Taylor and Francis, 1980, pp. 53-64.
- [70] MATTHEWS M.L., LOVASIK J.L., MERTINS K. - Visual performance and subjective discomfort in prolonged viewing of chromatic displays. *Human Factors*, 1989, **31**, pp. 259-271.

- [71] STARR S.J. - Effects of video display terminals in a business office. *Human Factors*, 1984, **26**, pp. 347-356.
- [72] ZUELCH J., CONRADY P., KRUEGER H. - Visual complaints at work places with magnifying glasses. In : ADAMS A.S., HALL R.R., Mc PHEE B.J. and OXENBURGH M.S. (Eds). - Proceedings of the International Ergonomics Association. 10 th congress, Sydney, 1988, pp. 111-113.
- [73] KRUEGER H., CONRADY P., ZÜLCH J. - Work with magnifying glasses. *Ergonomics*, 1989, **32**, pp. 785-794.
- [74] WILKINS A.J., NIMMO-SMITH M.I. - The clarity and comfort of printed text. *Ergonomics*, 1987, **30**, pp. 1705-1720.
- [75] STONE P.T., CLARKE A.M., SLATER A.I. - The effect of task contrast on visual performance and visual fatigue at a constant illuminance. *Lighting Research and Technology*, 1980, **12**, pp. 144-159.
- [76] PADMOS P., POT F. - Determinants of the VDU operator's well-being : visual and postural ergonomics, optometry. In : Work with Visual Display Units. International Scientific Conference, Stockholm, 12-15 mai 1986. Stockholm, Swedish National Board of Occupational Safety and Health Research Department, 1986, pp. 167-170.
- [77] CUSHMAN W.H. - Reading from microfiche, a VDT, and the printed page: subjective fatigue and performance. *Human Factors*, 1986, **28**, pp. 63-73.
- [78] REY P., MEYER J.J. - Visual impairments and their objective correlates. In : GRANDJEAN E. and VIGLIANI E. (Eds). - Ergonomics Aspects of Visual Display Terminals. London, Taylor and Francis, 1980, pp. 77-83.
- [79] KARN K.S., MERSHON D.H. - Dark focus, dark vergence and subjective reports of visual fatigue during CRT display viewing. In : ALLUISI M.J., DE GROOT S. and ALLUISI E.A. - Proceedings of the Human Factors Society. 28th annual meeting, San Antonio, 22-26 octobre 1984. Santa Monica, Human Factors Society, 1984, pp. 935-936.
- [80] SUGITA M., MINOWA H., ISHI M., ETOH R. - Facteurs qui influent sur les symptômes subjectifs ressentis par les opérateurs de terminaux à écran de visualisation (traduction). *Japanese Journal of Industrial Health*, 1986, **28**, pp. 409-419.
- [81] EVANS J. - Questionnaire survey of British VDU operators. In : Work with Display Units. International Scientific Conference, Stockholm, 12-15 mai 1986. Stockholm, Swedish National Board of Occupational Safety and Health Research Department, 1986, pp. 565-568.
- [82] OSTBERG O., SMITH M.J. - Effects on visual accommodation and subjective visual discomfort from VDT work intensified through split screen technique. In : KNAVE B. and WIDEBÄCK P.-G. (Eds) - Work with Display Units 86. Amsterdam, Elsevier, 1987, pp. 512-521.
- [83] GRATTON I., PICCOLI B., MERONI M., GRIECO A. - A two-year follow-up study of visual function variations in VDU operators. In : Le travail à l'écran de visualisation. Deuxième conférence scientifique internationale, Montréal, 11-14-septembre 1989. Montréal, IRSST, 1989, p. 22.

- [84] CRESPI J., GRAMONI R., MEYER J.J. - Etude de la charge visuelle dans une entreprise d'horlogerie. *Le travail humain*, 1980, **43**, p. 217.
- [85] GUERIN F., PAVARD B., DURAFFOURG J. - Le travail sur terminal à écran de visualisation dans les imprimeries de presse. Paris, Collection de Physiologie du Travail et d'Ergonomie du CNAM, 61, 1979, 219 p.
- [86] ZWAHLEN H.T., HARTMANN A.L., RANGARAJULU S.L. - Video display operator's eye scanning, comfort/discomfort and performance in a hard copy - screen and a split screen data presentation. In : ALLUISI M.J., DE GROOT S. and ALLUISI E.A. - Proceedings of the Human Factors Society. 28th annual meeting, San Antonio, 22-26 octobre 1984. Santa Monica, Human Factors Society, 1984, pp. 926-930.
- [87] HARTMANN A.L. - Augenbelastung durch bildschirmsehen. *Swiss Chem. Suisse*, 1986, **8**, pp. 72-74.
- [88] GUNNARSSON E., SÖDERBERG I. - Eye strain resulting from VDT work at the swedish telecommunications administration. *Applied Ergonomics*, 1983, **14**, pp. 61-69.
- [89] MELLNER M., MOBERG I. - Visual and muscular discomforts during VDT work. Stockholm, Oxens Företagshälsovård, 1983.
- [90] ROHMERT W., HAIDER E., HECKER C., MAINZER J., ZIPP P. - Mikroskopiertätigkeiten bei Visueller Kontrolle und Reparatur von Leiterplatten, Keramikfolien, Mikrochips. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 1986, **40**, pp. 166-173.
- [91] MIYAO M., ISHIHARA S., KUNO H., IGUCHI H., FURUKAWA K., SAKAKIBARA H., KONDO T., FURUTA M., YAMADA S., TAMURA H. - Effects of VDT polarity and presentation speed on pupil area. In : ADAMS A.S., HALL R.R., Mc PHEE B.J. and OXENBURGH M.S. (Eds). - Proceedings of the International Ergonomics Association. 10 th congress, Sydney, 1988, pp. 578-580.
- [92] KRAVKOV S.V. - The hygienic basis of standards of illumination : types of visual fatigue. *Nasa technical translation*, 1945, pp. 321-339.
- [93] PEAVLER W.S., GEACINTOV T. - Techniques in visual fatigue assessment. Bell Telephone Labs., 1974.
- [94] SHIKAWA S. - Examination of the near triad in VDU operators. *Ergonomics*, 1990, **33**, pp. 787-798.
- [95] GEACINTOV T., PEAVLER W.S. - Pupillography in industrial fatigue assesment. *Journal of Applied Psychology*, 1974, **59**, pp. 213-216.
- [96] BURNS W. - Physiological effects of noise. In : HARRIS C.M. (Ed). - Handbook of Noise Control. New-York, Mc Graw Hill, 1979, pp. 15-1 - 15-23.
- [97] MIEGE C. - L'utilisation des variations du diamètre pupillaire comme indicateur objectif des performances spatiales du système visuel. Actes de la journée européenne sur les Sciences de la vision et leurs applications. Paris, 1990, pp. 32-34.

- [98] TAKEICHI K., SAIDA S. - Influence of VDT work having flicker and glare on pupil response. *Bulletin of Industrial Products Research Institute*, 1985, **103**, pp. 41-45.
- [99] TAPTAGAPORN S., SAITO S. - How display polarity and lighting conditions affect the pupil size of VDT operators. *Ergonomics*, 1990, **33**, pp. 201-208.
- [100] SAITO S., ISHIKAWA K., HATADA T. - Physiological evidences of superiority of positive type CRT among information displays. In : SMITH M.J. and SALVENDY G. (Eds). - *Work with Computers: Organizational, Management, Stress and Health Aspects*. Amsterdam, Elsevier, 1989, pp. 536-541.
- [101] TAKEDA T., FUKUI Y., IIDA T. - Dynamic eye accommodation induced by depth sensation. In : ADAMS A.S., HALL R.R., Mc PHEE B.J. and OXENBURGH M.S. (Eds). - *Proceedings of the International Ergonomics Association. 10 th congress*, Sydney, 1988, pp. 552-554.
- [102] MALMSTROM F.V., RANDLE R.J., MURPHY M.R., REED L.E., WEBER R.J. - Visual fatigue : the need for an integrated model. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 1981, **17**, pp. 183-186.
- [103] ZWAHLEN H.T., HARTMANN A.L. - VDT operator pupil diameter changes, accommodation changes and subjective comfort/discomfort score changes over a working day. In : SWEZEY R.W. (Ed). - *Proceedings of the Human Factors Society. 29 th annual meeting*, Baltimore, 29 septembre - 3 octobre 1985. Santa Monica, Human Factors Society, 1985, pp. 630-634.
- [104] DAVIES D.R., PARASURAMAN R. - *The psychology of vigilance*. London, Academic Press, 1982, 288 p.
- [105] STERN J.A., STROCK B. - Oculomotor activity and user-system interaction in the workplace. In : GALE A. and CHRISTIE B. (Eds). - *Psychophysiology and the Electronic Workplace*. Chichester, John Wiley and Sons, 1987, pp. 239-254.
- [106] MAREK T., ZARCZYNSKI Z., NOWOROL C. - Objective fatigue measurement by pupillography. *Ergonomics*, 1979, **6**, p. 271.
- [107] MAREK T., CZESLAW M. - Changes in pupillary light-reflex as indicators of mental workload and fatigue. In : KARWOWSKI (Ed). - *Trends in Ergonomics / Human Factors III*. Amsterdam, Elsevier, 1986, pp. 135-144.
- [108] FUKUDA T., KANADA K., SAITO S. - An ergonomic evaluation of lens accommodation related to visual circumstances. *Ergonomics*, 1990, **33**, pp. 811-831.
- [109] SAITO M. - The effect of forced visual work on the visual nervous system. In : SALVENDY G. (Ed). - *Human-Computer Interaction*. Amsterdam, Elsevier, 1984, pp. 303-306.
- [110] LAVILLE A., TEIGER C., LANTIN G., DESSORS D. - Quelques caractéristiques de la fatigue visuelle provoquées par le travail de détection sur microfiches. *Le travail humain*, 1979, **42**, pp. 261-273.
- [111] KINTZ R.B., BOWKER D.O. - Accommodation response during a prolonged visual search task. *Applied Ergonomics*, 1982, **13.1**, pp. 55-59.

- [112] SCHOBER H.A.W., DEHLER H., KASSEL R. - Accommodation during observations with optical instruments. *Journal of the Optical Society of America*, 1970, **60**, pp. 103-107.
- [113] ZOZ N.E., KUZNETOV J.-A. - Etat de l'appareil d'accommodation visuelle lors du travail au microscope (traduction). *Gigiena Truda i professional'nye Zabolevanija*, 1977, **12**, pp. 13-15.
- [114] SÖDERBERG I., CALISSENDORFF B., ELOFSSON S., KNAVE B. - Travail sous microscope. I. Enquête sur les gênes oculaires ressenties par les opérateurs travaillant sous microscope dans une entreprise d'électronique. II. Etude ergonomique du travail sous microscope dans une entreprise d'électronique. Traduction INRS 505-81, 1978, 79 p.
- [115] KUMASHIRO M. - A mechanism of mental stress response on vdt performance. In : GRANDJEAN E. (Ed). - *Ergonomics and Health in Modern Offices*. London, Taylor and Francis, 1984, pp. 240-247.
- [116] OSTBERG O. - Accommodation and visual fatigue in display work. *Displays*, 1980, **2**, pp. 81-85.
- [117] GRATTON I., PICCOLI B., ZANIBONI A., MERONI M., GRIECO A. - Change in visual function and viewing distance during work with VDTs. *Ergonomics*, 1990, **33**, pp. 1433-1441.
- [118] HEDMAN L., BRIEM V. - Focusing accuracy of VDT operators as a function of age and task. In : GRANDJEAN E. (Ed). - *Ergonomics and Health in Modern Offices*. London, Taylor and Francis, 1984, pp. 280-284.
- [119] OWENS D.A., WOLF-KELLY K. - Near work, visual fatigue, and variations of oculomotor tonus. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 1987, **28**, pp. 743-749.
- [120] PIGION R.G., MILLER R.J. - Fatigue of accommodation: changes in accommodation after visual work. *American Journal of Optometry and Physiological Optics*, 1985, **62**, pp. 853-863.
- [121] MILLER R.J., PIGION R.G., WESNER M.F., PATTERSON J.G. - Accommodation fatigue and dark focus : the effects of accommodation-free visual work as assessed by two psychophysical methods. *Perception and Psychophysics*, 1983, **34**, pp. 532-540.
- [122] MURCH G.M. - Visual fatigue and operator performance with dvst and raster displays. In : *Proceedings of the Society for Information Display*, 1983, **24**, pp. 53-61.
- [123] MOURANT R.R., LAKSHMANAN R., CHANTADISAL R. - Visual fatigue and cathode ray tube display terminals. *Human Factors*, 1981, **23**, pp. 529-540.
- [124] AOKI K., YAMANOI N., AOKI M., HORIE Y. - A study on the change of visual function in CRT display task. In : SALVENDY G. (Ed). - *Human-Computer Interaction*. Amsterdam, Elsevier, 1984, pp. 465-468.
- [125] IWASAKI T., KURIMOTO S. - Eye-strain and changes in accommodation of the eye and in visual evoked potential following quantified visual load. *Ergonomics*, 1988, **31**, pp. 1743-1751.

- [126] TAKEDA T., FUKUI Y., IIDA T., KARASUYAMA K. - An objective measurement of accommodation aftereffect in terms of display colour of VDT. In : BROWN I.D., GOLDSMITH R., COOMBES K. and SINCLAIR M.A. (Eds). - *Ergonomics International* 85. London, Taylor and Francis, 1985, pp. 586-588.
- [127] TANAHASHI M., MIYAO M., SAKAKIBARA H., KONDO T., AKAMATSU Y., TAKIHI K., YAMAUCHI T., YAMANAKA K., YAMADA S., TOMIYASU S. - The effect of VDT work on the fluctuations of accommodation. *Industrial Health*, 1986, **24**, pp. 173-189.
- [128] TAKEDA T., FUKUI Y., IIDA T. - On-line measurement of visual responses viewing at VDTs. In : *Le travail à l'écran de visualisation. Deuxième conférence scientifique internationale*, Montréal, 11-14 septembre 1989. Montréal, IRSST, 1989, p. 131.
- [129] YAMAMOTO S., NORO K., KURIMOTO S., IWASAKI T. - VDT operators' variation of the accommodation of the eyes during VDT work. In : *Work with Display Units. International Scientific Conference*, Stockholm, 12-15 mai 1986. Stockholm, Swedish National Board of Occupational Safety and Health Research Department, 1986, pp. 878-881.
- [130] TAKEDA T., OSTBERG O., FUKUI Y., IIDA T. - Dynamic accommodation measurements for objective assesment of eyestrain and visual fatigue. *Journal of Human Ergology*, 1988, **17**, pp. 21-35.
- [131] TAYLOR S.E., Mc VEY B.W. - The dynamics of dark focus and accommodation to dark and light character CRT displays. In : GRANDJEAN E. (Ed). - *Ergonomics and Health in Modern Offices*. London, Taylor and Francis, 1984, pp. 248-253.
- [132] SAITO M., KISHIDA K., HASEGAWA T. - Ocular accommodation variability of visual inspection workers in shift work system. *Journal of Human Ergology*, 1982, **11**, pp. 47-55.
- [133] LESNIK M., POBORC-GODLEWSKA J., MAKOWIEC-DABROWSKA T., KOSZADA-WLODARCZYK W. - Evaluation of the use fulness of methods for testing the visual fatigue (traduction). *Medycina Pracy*, 1987, **38**, pp.-421-428.
- [134] KRUEGER H. - Presbyopie et ses conséquences sur la vision dynamique et le travail devant écran de visualisation. *Médecine sociale et préventive*, 1984, **29**, pp. 190-191.
- [135] KOITCHEVA V., ZLATEVA V. - Problèmes visuels chez les couturières d'une usine. *Le travail humain*, 1980, **43**, pp. 218-219.
- [136] KOITCHEVA V., ZLATEVA V. - Altérations professionnelles de la vue chez les dentistes. *Le travail humain*, 1983, **46**, pp. 113-119.
- [137] ELWORTH C.L., LARRY C., MALMSTROM F.V. - Age, degraded viewing environments and the speed of accommodation. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 1986, january, pp. 54-58.
- [138] CORNO F., DENIEUL P. - Analysis of small disturbances of accommodation related to visual display units. In : *Work with Display Units. International Scientific Conference*, Stockholm, 12-15 mai 1986. Stockholm, Swedish National Board of Occupational Safety and Health Research Department, 1986, pp. 948-951.

- [139] GOURAY A. - Lumière et fatigue visuelle. *Lux*, 1987, **142**, pp. 16-19.
- [140] FREIVALDS A., HARPSTER J.L., MOUSSAOUI N. - Oculomotor control while viewing CRTs and hard-copy displays. *Displays*, 1989, january, pp. 21-28.
- [141] HARPSTER J.L., FREIVALDS A., SHULMAN G.L., LEIBOWITZ H.W. - Visual performance on CRT screens and hard-copy displays. *Human Factors*, 1989, **31**, pp. 247-257.
- [142] SHAHNAVAZ H., HEDMAN L. - Visual accommodation changes in VDU - operators related to environmental lighting and screen quality. *Ergonomics*, 1984, **27**, pp. 1071-1082.
- [143] TAKEDA T., FUKUI Y., IIDA T. - Influence of CRT refresh rates on accommodation aftereffects. In : KNAVE B. and WIDEBÄCK P.-G. (Eds). - *Work with Display Units 86*. Amsterdam, Elsevier, 1987, pp. 474-482.
- [144] RUPP B.A., MC VEY B.W., TAYLOR S.E. - Image quality and the accommodation response. In : GRANDJEAN E. (Ed). - *Ergonomics and Health in Modern Offices*. London, Taylor and Francis, 1984, pp. 254-259.
- [145] LÄUBLI TH., GYR S., NISHIYAMA K., GLERER R., GRANDJEAN E. - Effects of refresh rates of a simulated CRT display with bright characters on a dark screen. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 1986, **1**, pp. 9-20.
- [146] IWASAKI T., KURIMOTO S. - Influence of visible and invisible flicker on "floating accommodation". In : *Work with Display Units. International Scientific Conference, Stockholm, 12-15 mai 1986*. Stockholm, Swedish National Board of Occupational Safety and Health Research Department, 1986, pp. 387-390.
- [147] LOVASIK J.V., MATTHEWS M.L., KERGOAT H. - Neural, optical, and search performance in prolonged viewing of chromatic displays. *Human Factors*, 1989, **31**, pp. 273-289.
- [148] CHARMAN W.N., HERON G. - Spatial frequency and the dynamic of the accommodation response. *Optica Acta*, 1979, **26**, pp. 217-228.
- [149] JASCHINSKI-KRUZA W. - Visual strain during VDU work: the effect of viewing distance and dark focus. *Ergonomics*, 1988, **31**, pp. 1449-1465.
- [150] IWASAKI T., KURIMOTO S., NORO K. - The change in colour critical flicker fusion (CFF) values and accommodation times during experimental repetitive tasks with CRT display screens. *Ergonomics*, 1989, **32**, pp. 293-305.
- [151] YEOW P.T., TAYLOR S.P. - Effects of short-term VDT usage on visual functions. *Optometry and Vision Science*, 1989, **66**, pp. 459-466.
- [152] HASEGAWA T., KUMASHIRO M., MIKAMI K., OKUBO T. - Work load of programmers and operators with VDU. In : SALVENDY G. (Ed) - *Human-Computer Interaction*. Amsterdam, Elsevier, 1984, pp. 361-364.
- [153] AOKI M., OHKUBO T., HORIE Y., SAITO S. - VDT and human performance. In : SALVENDY G. (Ed). - *Human-Computer Interaction*. Amsterdam, Elsevier, 1984, pp. 331-334.
- [154] COLLINS J.B. - Visual fatigue and its measurement. *Annals of Occupational Hygiene*, **1**, 1959, pp. 228-236.

- [155] KRIVOHLAVY J., KODAT V., CIZEK P. - Visual efficiency and fatigue during the afternoon shift. *Ergonomics*, 1969, **12**, pp. 735-740.
- [156] CORNO-MARTIN F., DENIEUL P. - Contrôle de l'accommodation pour des informations colorées présentées sur écran cathodique. In : Le travail à l'écran de visualisation. Deuxième conférence scientifique internationale, Montréal, 11-14 septembre 1989. Montréal, IRSST, 1989, p. 129.
- [157] JASCHINSKI-KRUZA W. - Transient myopia after visual work. *Ergonomics*, 1984, **27**, pp. 1181-1189.
- [158] WOO G.C., STRONG G., IRVING E., ING B. - Are there subtle changes in vision after use of VDT ?. In : KNAVE B. and WIDEBÄCK P.-G. (Eds). - Work with Display Units 86. Amsterdam, Elsevier, 1987, pp. 490-503.
- [159] EHRLICH D.L. - Near vision stress: vergence adaptation and accommodative fatigue. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 1987, **7**, pp. 353-357.
- [160] SERRA A. - Far point of VDU operators measured in situ. In : GRANDJEAN E. (Ed). - Ergonomics and Health in Modern Offices. London, Taylor and Francis, 1984, pp. 260-264.
- [161] HERMANS G. - Couleur et écran. *Revue de l'ophtalmologie française*, numéro spécial travail sur écran, 1986, pp. 65-69.
- [162] KOITCHEVA V. - Fonctions visuelles et travail. *Le travail humain*, 1983, **46**, pp. 93-111.
- [163] VOLLE M.A., BRISSON G.R., DION M. - Fréquence de fusion critique visuelle et mesure de fatigue: état de la question. *Le travail humain*, 1980, **43**, pp. 65-86.
- [164] BAHILL A.T., STARK L. - Overlapping saccades and glissades are produced by fatigue in the saccadic eye movement system. *Experimental Neurology*, 1975, **48**, pp. 95-106.
- [165] LION K.S., BROCKHURST R.J. - Study of ocular movements under stress. *Archives of Ophthalmology*, 1951, **46**, pp. 315-318.
- [166] YAMAMOTO S., NORO K. - The effect of variation of saccadic eye movement on VDU operation. In : GRANDJEAN E. (Ed). - Ergonomics and Health in Modern Offices. London, Taylor and Francis, 1984, pp. 305-309.
- [167] HAYASHI E., OGAWARA Y. - A study on the workload of shear-line inspectors based on eye-movement analysis. *Journal of Human Ergology*, 1977, **6**, pp. 121-126.
- [168] MEGAW E.D., SEN T. - Changes in saccadic eye movement parameters following prolonged VDT viewing. In : GRANDJEAN E. (Ed). - Ergonomics and Health in Modern Offices. London, Taylor and Francis, 1984, pp. 352-358.
- [169] MIYAO M., HACISALIHZADE S.S., ALLEN J.S., STARK L.W. - Effects of VDT resolution on visual fatigue and readability: an eye movement approach. *Ergonomics*, 1989, **32**, pp. 603-614.
- [170] TOGAMI H. - Individual differences observed from the relationship between percent corrects counts and eye movements. *Ergonomics*, 1982, **25**, p. 545.



- [171] DE TERSSAC G., QUEINNEC Y., THON P. - Horaires de travail et organisation de l'activité de surveillance. *Le travail humain*, 1983, **46**, pp. 65-79.
- [172] LARMANDE A.M, DELPLACE M.P. - Modifications engendrées par le bruit sur le comportement oculomoteur du sujet normal: enregistrement des mouvements oculaires de type saccadique, de poursuite de type sinusoïdal et rectiligne, du nystagmus opto-cinétique. In : Rapport final sur les recherches effectuées sur le thème bruit-santé. Paris, Ministère de l'Environnement, collection recherche environnement, 28, 1985, pp. 67-72.
- [173] WILKINS A. - Intermittent illumination from visual display units and fluorescent lighting affects movements of the eyes across text. *Human Factors*, 1986, **28**, pp. 75-81.
- [174] BROWN B. - The effect of target contrast variation on dynamic visual acuity and eye movements. *Vision Research*, 1972, **12**, pp. 1213-1224.
- [175] SCHMIDT D., ABEL A., DELL'OSSO L.F., DAROFF R.B. - Saccadic velocity characteristics: intrinsic variability and fatigue. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 1979, avril, pp. 393-395.
- [176] ANGIBOUST R. - Cours de Psychophysiologie du Travail du Certificat de Physiologie du Travail et Ergonomie. Paris, Faculté de Médecine Pitié-Salpêtrière, 1984.
- [177] GOUSSARD Y., MARTIN B., STARK L. - A new quantitative indicator of visual fatigue. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 1987, **34**, pp. 23-29.
- [178] SAITO T., ISHIKAWA S., AOKI S. - Comparison of microsaccades between visual display unit workers and hard copy workers. In : Le travail à l'écran de visualisation. Deuxième conférence scientifique internationale, Montréal, 11-14 septembre 1989. Montréal, IRSST, 1989, p. 69.
- [179] RABIT M. - Fatigue visuelle. In : Vision-travail. Colloque international, Rodez-Toulouse, 23-25 novembre 1978. Rodez-Toulouse, IRACT, 1978, pp. 111-117.
- [180] THEISSEN M.S., LAY J.E., HELFER T.M., STERN J.A., STROCK B.D. - Neurophysiological workload test battery validation study. Interim technical report, study II, AMR/AMD Air Force Systems Command, Wright-Patterson AFB, 1984.
- [181] BITTERMAN M.E. - Frequency of blinking in visual work: a reply to Dr Luckiesh. *Journal of Experimental Psychology*, 1947, **37**, p. 260.
- [182] BROZEK J., SIMONSON E., FRANKLIN J.C. - A note on methodological evaluation of selected visual tests. *American Journal of Ophthalmology*, 1948, **31**, p. 979.
- [183] FUKUI T., MORIOKA T. - The blink method as an assessment of fatigue. *Ergonomics*, 1971, **14**, pp. 23-30.
- [184] BAUER L.O., STROCK B.D., GOLDSTEIN R., STERN J.A., WALRATH L.C. - Auditory discrimination and the eyeblink. *Psychophysiology*, 1985, **22**, pp. 636-641.
- [185] GOLDSTEIN R., WALRATH L.C., STERN J.A., STROCK B.D. - Blink activity in a discrimination task as a function of stimulus modality and schedule of presentation. *Psychophysiology*, 1985, **22**, pp. 629-635.

- [186] METHLING D. - Measurement of visual stress in VDU work procedures. In : BERLINGUET L. and BERTHELETTE D. (Eds). - *Work with Display Units 89*. Amsterdam, Elsevier, 1990, pp. 39-46..
- [187] YAMADA F. - A selected review of eyeblink researches in Japan. *Ergonomics Abstract*, 1989, **26**, p. S6.
- [188] OWENS D.A., LEIBOWITZ H. - Perceptual and motor consequences of tonic vergence. In : SHOR C. and CIUTTREDA K. (Eds). - *Vergence Eye Movements Basic and Clinical Aspects*. London, Butterworths, 1983, pp.
- [189] FRENETTE B., DESNOYERS L. - Etude des effets du travail au microscope sur le système visuel. In : Proceedings of the 19 th annual meeting of the human factors. Association of Canada, 1986, pp. 31-34.
- [190] KURIMOTO S., IWASAKI T., NORO K., YAMAMOTO S., KOMATSUBARA A. - Eye strain in VDT work from the standpoint of ergophthalmology. In : NORO (Ed). - *Occupational Health and Safety in Automation and Robotics*. London, Taylor and Francis, 1987, pp. 110-136.
- [191] MAHTO R.S. - Eye strain from convergence insufficiency. *British Medical Journal*, 1972, **2**, pp. 564-565.
- [192] MORRA M. - Studio della convergenza oculare in un gruppo selezionato di operatori al videoterminale. *La medicina del lavoro*, 1988, **79**, pp. 318-321.
- [193] JASCHINSKI-KRUZA W. - Is the resting state of our eyes a favorable viewing distance for VDU-work ?. In : KNAVE B. and WIDEBÄCK P.-G. (Eds). - *Work with Display Units 86*. Amsterdam, Elsevier, 1987, pp.-526-538.
- [194] TYRRELL R.A., LEIBOWITZ H.W. - The relation of vergence effort to reports of visual fatigue following prolonged near work. *Human Factors*, 1990, **32**, pp. 341-357.
- [195] LABAN M.M., MEERSCHAERT J.R. - Computer-generated headache. Brachiocephalgia at first byte. *American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation*, 1989, **68**, pp. 183-185.
- [196] HEUER H., HOLLENDIEK G., KROGER H., ROMER T. - Die Ruhelage der Augen und ihr Einfluss auf Beobachtungsabstand und visuelle Ermüdung bei Bildschirmarbeit. *Zur experimentell angewandter Psychologie*, 1989, **36**, pp. 538-566.
- [197] JÄRVINEN E., MÄKITIE J. - VDU work, refractive errors and binocular vision. In : KNAVE B. and WIDEBÄCK P.-G. (Eds). - *Work with Display Units 86*. Amsterdam, Elsevier, 1987, pp. 552-555.
- [198] NISHIYAMA K., BRÄUNINGER U., DE BOER H., GIERER R., GRANDJEAN E. - Physiological effects of intermittently illuminated textual displays. *Ergonomics*, 1986, **29**, pp. 1143-1154.
- [199] YEKTA A.A., PICKWELL L.D., JENKINS T.C.A. - Binocular vision without visual stress. *Optometry and Vision Science*, 1989, **66**, pp. 815-817.
- [200] REY P., REY J.P. - La fréquence de fusion optique subjective : comparaison de 3 méthodes avant et après le travail. *Le travail humain*, 1964, **26**, pp. 135-145.

- [201] REY P., GRAMONI R., MEYER J.J. - La fréquence critique de fusion et la courbe de De Lange. *Le travail humain*, 1974, **37**, pp. 137-146.
- [202] SAITO M., TANAKA T. - Eyestrain in inspection and clerical workers. *Ergonomics*, 1981, **24**, pp. 161-173.
- [203] GRANDJEAN E., WOTZKA G., SCHAAD R., GILGEN A. - Fatigue and stress in air traffic controllers. *Ergonomics*, 1971, **14**, pp. 159-165.
- [204] HARWOOD K., FOLEY P. - Temporal resolution: an insight into the video display terminal (VDT) "problem". *Human Factors*, 1987, **29**, pp. 447-452.
- [205] BROZEK J., KEYS A. - Flicker fusion frequency as a test of fatigue. *Journal of Industrial Hygiene and Toxicology*, 1944, **26**, p. 169.
- [206] BUSCH G., WACHHOLDER K. - Der Einfluss ermüdender geistiger Beanspruchung auf die Flimmerverschmelzungsfrequenz. *Arbeitsphysiologie*, 1953, **15**, p. 149.
- [207] SIMONSON E., ANDERSON D., KEIPER C. - Effect of stimulus movement on critical flicker fusion in young and older men. *Journal of Gerontology*, 1967, **22**, pp. 353-365.
- [208] MIKAMI K., IZUMI S., KUMASHIRO M. - A comparative study of males and females at a visual inspection task. In : ADAMS A.S., HALL R.R., Mc PHEE B.J. and OXENBURGH M.S. (Eds). - Proceedings of the International Ergonomics Association. 10 th congress, Sydney, 1988, pp. 496-498.
- [209] OSAKA N. - Effect of VDU color on visual fatigue in the fovea and periphery of the visual field. In : BROWN I.D., GOLDSMITH R., COOMBES K. and SINCLAIR M.A. (Eds). - Ergonomics international 85. London, Taylor and Francis, 1985, pp. 148-150.
- [210] BASCHERA P., GRANDJEAN E. - Effects of repetitive tasks with different degrees of difficulty on critical fusion frequency (CFF) and subjective state. *Ergonomics*, 1979, **22**, pp. 377-385.
- [211] SIMONSON E. - The fusion frequency of flicker as a criterion of central nervous system fatigue. *American Journal of Ophthalmology*, 1959, **47**, pp. 556-565.
- [212] FLOREK H. - Intermittent light stimuli and visual fatigue. *Studia Psychologia*, 1969, **11**, p. 56.
- [213] MAREK T., NOWOROL C. - Bi-point flicker research and self-ratings of mental and visual fatigue of VDT operators. In : ASFOUR (Ed). - Trends in Ergonomics / Human Factors IV. Amsterdam, Elsevier, 1987, pp. 163-168.
- [214] RYAN T.A., BITTERMAN M.E., COTTRELL C.L. - Relation of critical fusion frequency to fatigue in reading. *Illuminating Engineering*, 1953, **48**, pp. 385-391.
- [215] LANTHONY P. - L'acuité visuelle dynamique. *Annales d'oculistique*, 1977, **210**, pp. 369-374.
- [216] KOITCHEVA V., ZLATEVA V. - Effect of age on visual fonctions. *Probl. Khig.*, 1980, **5**, pp. 43-49.

- [217] HOHNSBEIN J., PIEKARSKI C., KAMPMANN B., NOACK T. - Effects of heat on visual acuity. *Ergonomics*, 1984, **27**, pp. 1239-1246.
- [218] CARLSSON L., KNAVE B., LENNERSTRAND G., WIBOM R. - Glare from outdoor high mast lighting : effects on visual acuity and contrast sensitivity in comparative studies of different floodlighting systems. *Acta Ophthalmologica*, supplementum **161**, 1984, pp. 84-93.
- [219] GINSBURG A.P., CANNON M.W., EVANS D.W., OWSLEY C., MULVANEY P. - Large sample norms for contrast sensitivity. *American Journal of Optometry and Physiological Optics*, 1984, **61**, pp. 80-84.
- [220] OWENS D.A. - A comparison of accommodative responsiveness and contrast sensitivity for sinusoidal gratings. *Vision Research*, 1980, **20**, pp. 159-167.
- [221] FINLAY D., WILKINSON J. - The effects of glare on the contrast sensitivity function. *Human Factors*, 1984, **26**, pp. 283-287.
- [222] SCIALFA C.T., GARVEY P.M., GISH K.W., DEERING L.M., LEIBOWITZ H.W., GOEBEL C.C. - Relationships among measures of static and dynamic visual sensitivity. *Human Factors*, 1988, **30**, pp. 677-687.
- [223] GINSBURG A.P., CANNON M.W. - Comparison of three methods for rapid determination of threshold contrast sensitivity. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 1983, **24**, pp. 798-802.
- [224] GREENHOUSE D.S., BAILEY I.L., HOWARTH P.A. - Spatial adaptation to video text displays. In : Le travail à l'écran de visualisation. Deuxième conférence scientifique internationale, Montréal, 11-14 septembre 1989. Montréal, IRSST, 1989, p. 67.
- [225] MIKEALIAN H.H. - Changes in contrast sensitivity function produced by VDT use. *International Journal of Man-Machine Studies*, 1988, **28**, pp. 637-642.
- [226] LUNN R., BANKS W.P. - Visual fatigue and spatial frequency adaptation to video displays of text. *Human Factors*, 1986, **28**, pp. 457-464.
- [227] SCHMIDT M.J., CAMISA J.M. - Display parameters for improved performance and reduced fatigue: an experimental study. In : GRANDJEAN E. (Ed). - Ergonomics and Health in Modern Offices. London, Taylor and Francis, 1984, pp. 265-269.
- [228] OWSLEY C., SEKULER R., BOLDT C. - Aging and low-contrast vision: face perception. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 1981, **21**, pp. 362-365.
- [229] HOHNSBEIN J., PIEKARSKI C., KAMPMANN B. - Influence of high ambient temperature and humidity on visual sensitivity. *Ergonomics*, 1983, **26**, pp. 905-911.
- [230] KOBRICK J.L., ZELTZER H.I., MULLEN S.P. - A system for controlled presentation of the Arden contrast sensitivity test. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 1988, july, pp. 667-669.
- [231] OSSENBLOK P., SPEKRIJSE H. - Visual evoked potentials as indicators of the workload at visual display terminals. *Ergonomics*, 1988, **31**, pp. 1437-1448.

- [232] GRALL Y. - Exploration objective et travail sur écran. *Revue de l'Ophthalmologie Francaise*, numéro spécial travail sur écran, 1986, pp. 44-53.
- [233] CAMISA J.M., SCHMIDT M.J. - Performance, fatigue and stress for the older VDT user. In : GRANDJEAN E. (Ed). - *Ergonomics and Health in Modern Offices*. London, Taylor and Francis, 1984, pp. 276-279.
- [234] SPEKREIJSE H., VAN DER TWEEL L.H., ZUIDEMA Th. - Contrast evoked responses in man. *Vision Research*, 1973, **13**, pp. 1577-1601.
- [235] FAGAN Jr. J.E., WESTGATE T.M., YOLTON R.L. - Effects of video display character size, clarity, and color on P-300 latency. *American Journal of Optometry and Physiological Optics*, 1986, **63**, pp. 41-51.
- [236] YAMAZAKI T., KAMIJO K. - Visual evoked potentials as an indicator of visual fatigue. In : SMITH M.J. and SALVENDY G. (Eds). - *Work with Computers: Organizational, Management, Stress and Health Aspects*. Amsterdam, Elsevier, 1989, pp. 676-679.
- [237] ONO Y., AHN O.H., HUANG J., SHIBATA E. - Influence of the work with VDTs on quantity of tears. In : *Le travail à l'écran de visualisation. Deuxième conférence scientifique internationale*, Montréal, 11-14 septembre 1989. Montréal, IRSST, 1989, p. 35.
- [238] LÄUBLI T., NIBEL H., THOMAS C., SCHWANINGER U., KRUEGER H. - Merits of periodic visual screening tests in VDU operators. In : SMITH M.J. and SALVENDY G. (Eds). - *Work with Computers: Organizational, Management, Stress and Health Aspects*. Amsterdam, Elsevier, 1989, pp. 324-329.
- [239] COGAN D.G., COGAN F.C. - Color fatigue in the peripheral field. *Ophthalmologica*, 1938, **96**, p. 137.
- [240] HARTRIDGE H. - Some fatigue effects on the human retina produced by using coloured lights. *Nature*, 1947, **160**, p. 538.
- [241] Mc COLLOUGH C. - Color adaptation of edge-detectors in the human visual system. *Science*, 1965, **149**, pp. 115-116.
- [242] SEABER J.H., FISHER B., LOCKHEAD G.R., WOLBARSHT M.L. - Incidence and characteristics of Mc Collough aftereffects following video display terminal use. *Journal of Occupational Medicine*, 1987, **29**, pp. 727-729.
- [243] VOLA J.L., LEID J., LEID V., GASTAUD P. - L'effet Mc Collough en clinique: test de fatigue oculaire. *Bulletin des sociétés d'ophtalmologie de France*, 1983, **1**, pp. 169-173.
- [244] SHUTE C.C.D. - *The Mc Collough effect*. Cambridge, University Press, 1979, p. 1979.
- [245] GOBBA F., LUBERTO F., CAVALLERI A. - Mc Collough effect in green phosphors video display terminal users. *Journal of occupational Medicine*, 1988, **30**, pp. 536-537.
- [246] LANTHONY P. - Couleur et écran. Communication au 1er colloque "Travail sur écran", Paris, 7 décembre 1985.

- [247] HERMANS G. - Couleur et écran. Communication au 1er colloque "Travail sur écran", Paris, 7 décembre 1985.
- [248] KHAN J.A., FITZ J., PSALTIS PH., IDE C.H. - Prolonged complementary chromatopsia in users of video display terminals. *American Journal of Ophthalmology*, 1984, **98**, pp. 756-758.
- [249] BLACKWELL H.R., SINTON D.J. - Accuracy of steady ocular fixation, speed and accuracy of saccadic eye movements as a function of task visibility level. *Journal of Illuminating Engineering Society*, 1981, **11**, pp. 35-51.
- [250] KRAISS K.-F., KNÄEUPER A. - Using visual lobe area measurements to predict visual search performance. *Human Factors*, 1982, **24**, pp. 673-682.
- [251] ELWANY M.H. - Conveyor-paced visual inspector efficiency over short and extended work periods. *Ergonomics*, 1982, **25**, p. 546.
- [252] SIMONSON E., BROZEK J., KEYS A. - Effects of meals on visual performance and fatigue. *Journal of Applied Physiology*, 1948, **1**, p. 270.
- [253] WARD M.M., STONE S.C., SANDMAN C.A. - Visual perception in women during the menstrual cycle. *Physiology and Behavior*, 1978, **20**, pp. 239-243.
- [254] COLOMBO E.M., KIRSCHBAUM C.F., RAITELLI M. - Legibility of texts : the influence of blur. *Lighting Research and Technology*, 1987, **19**, pp. 61-71.
- [255] NORDQVIST T., OHLSSON K., NILSSON L.-G. - Fatigue and reading of text on videotex. *Human Factors*, 1986, **28**, pp. 353-363.
- [256] GOULD J.D., ALFARO L., BARNES V., FINN R., GRISCHKOWSKY N., MINUTO A. - Reading is slower from CRT displays than from paper: attempts to isolate a single-variable explanation. *Human Factors*, 1987, **29**, pp. 269-299.
- [257] TAKAHASHI M., IIDA H., NISHIOKA A., KUBOTA S. - An appropriate luminance of VDT characters. In : GRANDJEAN E. (Ed). - *Ergonomics and Health in Modern Offices*. London, Taylor and Francis, 1984, pp. 316-321.
- [258] KOKOSCHKA S. - Visibility aspects of VDUs in terms of contrast and luminance. *Behaviour and Information Technology*, 1986, **5**, pp. 309-333.
- [259] CONRADY P., ZUELCH J., KRUEGER H. - Visual complaints at work places with microscopes. In : ADAMS A.S., HALL R.R., Mc PHEE B.J. and OXENBURGH M.S. (Eds). - *Proceedings of the International Ergonomics Association. 10 th congress, Sydney, 1988*, pp. 566-568.
- [260] COLLINS J.B., PRUEN B. - Perception time and visual fatigue. *Ergonomics*, 1962, **5**, p. 533.
- [261] DORARD G. - Place et validité des tests ophtalmologiques dans l'étude de la fatigue visuelle engendrée par le travail sur écran. Grenoble, Thèse de doctorat en médecine, 1988.
- [262] VOSS M., NYMAN K.G., BERGQVIST U. - VDT work and changes in binocular vision: some results. In : *Work with Display Units. International Scientific Conference, Stockholm, 12-15 mai 1986*. Stockholm, Swedish National Board of Occupational Safety and Health Research Department, 1986, pp. 863-866.

- [263] COURTNEY A.J., SHOU C.H. - Simple measures of visual-lobe size and search performance. *Ergonomics*, 1985, **28**, pp. 1319-1331.
- [264] BARTLEY S.H. - Understanding visual fatigue. *American Journal of Optometry*, 1954, **31**, p. 29.
- [265] HAITZ P., ZUELCH J., KRUEGER H. - Characteristics of a standard observer of flickering lights. In : ADAMS A.S., HALL R.R., McPHEE B.J. and OXENBURGH M.S. (Eds). - Proceedings of the International Ergonomic Association. 10 th congress, Sydney, 1988, pp. 572-574.
- [266] GRAMONI R., CRESPI J., MEYER J.J. - Etude de la charge visuelle dans une entreprise d'horlogerie. Genève, rapport de l'ARACT, 1979, 38 p.
- [267] LAMALLE Y., FEUERSTEIN I., GIMBERT E., MALLION J.-M. - Etude de la charge visuelle d'opérateurs sur terminaux à écran. *Archives des maladies professionnelles*, 1983, **44**, pp. 495-496.
- [268] DAZORD N. - Soudure à l'arc: auto-suivi de l'asthénie et mesure d'indices physiologiques de l'astreinte visuelle. Rapport d'étude. Lyon, Université Jean Moulin, 1984, 23 p.
- [269] DE GROOT J.P., KAMPHUIS A. - Eyestrain in VDU users : physical correlates and long-term effects. *Human Factors*, 1983, **25**, pp. 409-413.
- [270] DUBE L., MICHAUD R. - Les écrans cathodiques et leurs effets sur la santé oculaire. *Association des ophtalmologistes du Québec*, 1982.
- [271] JÄRVINEN E., MÄKITIE J. - VDU work, refractive errors and binocular vision. In : Work with Display Units. International Scientific Conference, Stockholm, 12-15 mai 1986. Stockholm, Swedish National Board of Occupational Safety and Health Research Department, 1986, pp. 136-138.
- [272] NYMAN K.G. - Refraction in VDU operators: a comparison with other professions. In : Work with Display Units. International Scientific Conference, Stockholm, 12-15 mai 1986. Stockholm, Swedish National Board of Occupational Safety and Health Research Department, 1986, pp. 139-141.
- [273] COLE B.L., SHARPE K., SLACK A., MADDOCKS J.D. - Comparison of refractive error and visual capacity of VDU users and non-VDU users. The sec-VDU study, bulletin 3. Melbourne, Victorian College of Optometry, 1989, 10 p.
- [274] REY P. - Examens médicaux chez les opérateurs sur écran, un point de vue. Communication à la deuxième conférence scientifique internationale sur le travail à l'écran de visualisation, Montréal, 11-14 septembre 1989.
- [275] HOWARTH P.A., ISTANCE H.O. - The validity of subjective reports of visual discomfort. *Human Factors*, 1986, **28**, pp. 347-351.
- [276] BERGQVIST U. - Video display terminals and health: a technical and medical appraisal of the state of the art. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, **10**, 1984, 87 p.
- [277] GRANDJEAN E. - Ergonomics in Computerized Offices. London, Taylor and Francis, 1987, 227 p.

- [278] SIMMERMAN H. - Visual fatigue. *American Journal of Optometry*, 1950, **27**, p. 554.
- [279] FLOREK H. - Some aspects of the determination of visual fatigue. *Studia Psychologia*, 1967, **9**, pp. 46-54.
- [280] HEATON J.M. - The pain in eyestrain. *American Journal of Ophthalmology*, 1966, **61**, pp. 104-112.
- [281] DUKE-ELDER W.S., Sir STEWART - System of Ophthalmology. In : KEMPTON H. (Ed). - Ophthalmic Optics and Refraction, V. Eye strain and visual hygiene. London, 1970.
- [282] ISHIKAWA S., KOJIMA Y. - A comparison of eye strain in VDU operators and hard copy workers : an objective determination by means of near triad responses. In : Le travail à l'écran de visualisation. Deuxième conférence scientifique internationale, Montréal, 11-14 septembre 1989. Montréal, IRSST, 1989, p. 112.
- [283] KRUEGER H. - Vision. Communication à la deuxième conférence scientifique internationale sur le travail à l'écran de visualisation, Montréal, 11-14 septembre 1989.