

→ R. Klein,  
Département Ingénierie  
des équipements de travail,  
INRS, Centre de Lorraine

# Filtres électro-optiques de soudage à l'arc

## Élaboration d'une méthodologie de validation de la sûreté de fonctionnement

### ELECTRO OPTICAL FILTERS FOR ARC WELDING

METHODOLOGY DEVELOPMENT FOR THE OPERATIONAL SAFETY VALIDATION

This article is primarily intended for standardisation experts, designers and certification bodies. It proposes answers to problems related to the safety of the electronic circuits fitted to auto darkening electro optical filters used for arc welding, particularly by taking design requirements into account and applying a validation method.

- electro-optical filter
- dependability • electronic circuit
- validation

Cet article s'adresse principalement aux experts de la normalisation, ainsi qu'aux concepteurs et organismes de certification. Il propose des réponses aux problèmes posés par la sécurité des circuits électroniques équipant les filtres électro-optiques commutables utilisés pour le soudage à l'arc, au travers notamment de la prise en compte des exigences de conception et l'application d'une méthode de validation.

- filtre électro-optique • fiabilité • circuit électronique • validation

## 1. Introduction

À l'instar de nombreux autres équipements, l'électronique a fait son entrée dans les filtres optiques équipant les masques de soudage afin de permettre une commutation automatique de l'état « clair » à l'état « foncé » dès l'amorçage de l'arc. Ce type de filtre est alors appelé filtre électro-optique. L'électronique évite à l'utilisateur d'avoir à relever fréquemment son masque, en particulier lors des opérations de pointage, assurant ainsi une meilleure ergonomie du poste de travail.

Cependant, ces avantages ne doivent pas écarter la question posée par l'incidence de la technologie « électronique » sur le niveau de protection assuré par le filtre, c'est-à-dire le degré de confiance que l'on peut avoir dans son aptitude à assurer ce niveau. La directive européenne relative aux équipements de protection individuelle (EPI) exige en effet un niveau de protection garanti [1]. Pour répondre à cette préoccupation et en l'absence de référentiel technique relatif aux circuits électroniques de ces filtres<sup>1</sup>, une méthode

de validation est décrite dans le présent article. Elle se base sur celle appliquée dans le domaine de la sécurité de machines [2] [3] [4] [5].

Cet article s'adresse principalement aux experts de la normalisation, afin d'être pris en compte, après discussion et approfondissement, dans la norme européenne EN 379 [6] relative à ce type d'équipement, ainsi qu'aux organismes de certification. Il s'adresse également aux concepteurs qui l'utiliseront comme référentiel technique et aux utilisateurs pour les sensibiliser au problème lié à la sûreté de fonctionnement.

## 2. Niveau de protection requis pour les filtres et moyens mis en œuvre pour l'atteindre

Le niveau de protection est obtenu par passage de l'état « clair » à l'état « foncé » du filtre et doit être assuré selon les prescriptions de la norme EN 379. La commutation s'effectue dès l'amorçage de l'arc qui est détecté par deux capteurs photoélectriques. La norme indique des

<sup>1</sup> Compte tenu de l'état de la technique et des connaissances au moment de son élaboration, la norme EN 379 ne prend que partiellement en compte l'utilisation de circuits électroniques pour réaliser cette fonction de protection.

valeurs de temps de commutation et de facteurs de transmission (voir définitions au § 6.1) correspondant chacun à un niveau de protection. Un numéro d'échelon est attribué à chaque niveau. Il est calculé à l'aide du facteur de transmission correspondant.

La *figure 1* montre un exemple de commutation état « clair » / état « foncé » ainsi que les signaux électriques visualisés correspondant respectivement à ces états.

La *figure 2* montre une commutation suivie d'un retour à l'état « clair ».

La norme EN 169 relative aux filtres de soudage [7] définit un numéro d'échelon correspondant à un facteur de transmission se situant entre deux limites. Certains filtres possèdent un réglage manuel de l'échelon état « foncé » (ex. : échelon 9 à échelon 13).

L'alimentation en énergie des circuits électroniques se fait généralement par l'un des deux moyens suivants :

- un ou deux capteurs photoélectriques solaires et/ou illuminés par l'arc lui-même ; un accumulateur de faible capacité peut être placé en tampon,

- une pile longue durée dont l'autonomie est prolongée par un capteur photoélectrique dont le fonctionnement est identique à ceux mentionnés ci-dessus.

La *figure 3* montre les principaux éléments constituant un filtre électro-optique.

### 3. Exigences en matière de conception du circuit électronique

Comme mentionné dans le paragraphe d'introduction, la démarche choisie pour définir les exigences applicables à la conception de circuits électroniques assurant un niveau de protection est celle utilisée dans le domaine de la sécurité des machines pour les fonctions de sécurité. L'application de cette démarche aux filtres montre que, pour atteindre le niveau de protection prescrit, les exigences de conception de ces circuits électroniques doivent être celles de la catégorie B de la norme EN 954-1 [4]. Cette notion de catégorie ne doit pas être confondue avec celle propre à la certification de tous les types d'EPI.

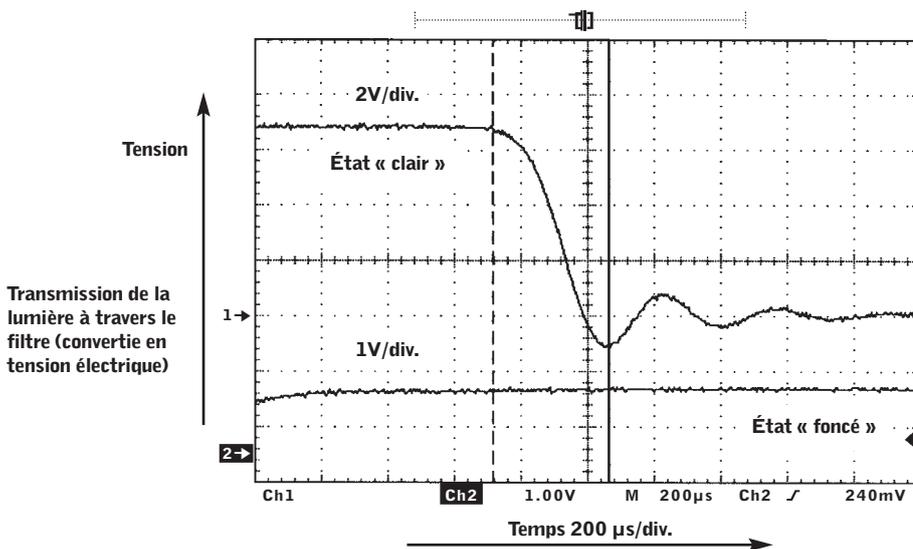
Pour cette catégorie B de l'EN 954-1, les exigences concernent l'aptitude du circuit à assurer sa fonction, c'est-à-dire assurer le niveau de protection requis et l'aptitude des sous-ensembles et composants à faire face aux influences attendues (exigence de base). Une dégradation du niveau de protection est cependant admise en cas de défaut. L'obtention du niveau de protection est principalement basée sur la fiabilité des composants et la prise en compte des influences extérieures. Contrairement aux appareils de protection respiratoire incluant des circuits électroniques, il n'y a pas d'exigences concernant le maintien du niveau de protection en cas de défaillance de composants électroniques [8].

### 4. Méthodologie d'analyse de la sûreté de fonctionnement de ces circuits électroniques

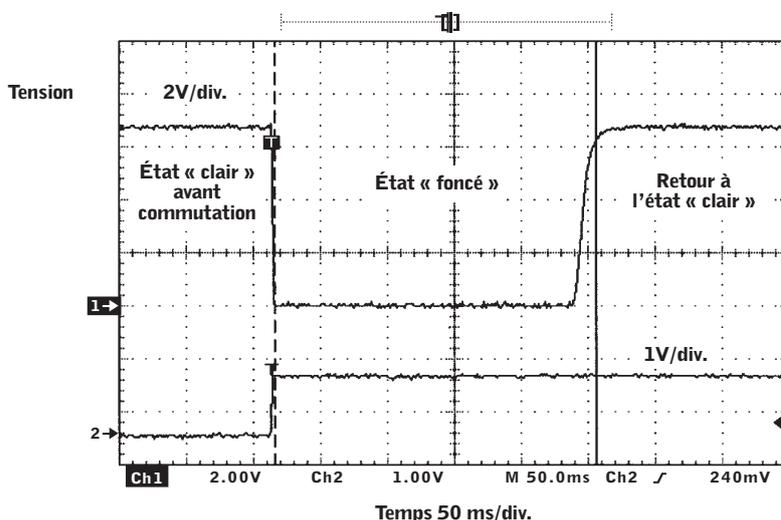
Il s'est avéré, lors d'essais en laboratoire, que quelques filtres électro-optiques issus de l'échantillon constitué étaient sensibles

**Fig. 1 : Exemple de commutation état « clair » / état « foncé »**

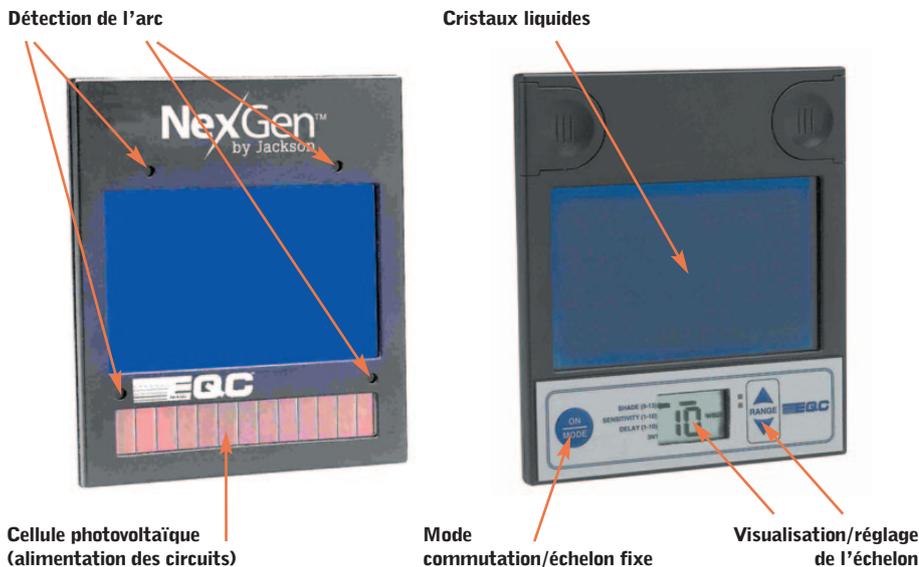
- Example of « clear » state | « dark » state switching



**Fig. 2 : Exemple de retour à l'état « clair »** - Example of return to « clear » state

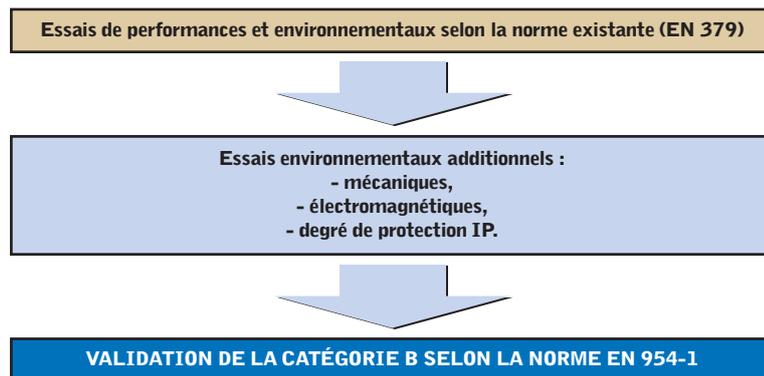


**Fig. 3 : Vue recto/verso d'un filtre électro-optique** (Autorisation Jackson Products)  
- Front and rear/double-sided view of an electro optical filter



**Fig. 4 : Représentation schématique du processus de validation de la sûreté de fonctionnement d'un filtre électro-optique**

- Diagramatic representation of a process to validate the operational safety of an electro-optical filter



■ Méthodologie additionnelle par rapport à la norme existante.

à des perturbations électromagnétiques. Les niveaux de sévérité appliqués sont représentatifs des perturbations pouvant être présentes dans un environnement industriel « standard » donc dans un environnement normal d'utilisation du filtre [9]. L'action des perturbations a conduit à une commutation de l'état « clair » à l'état « foncé », ce qui ne dégrade pas le niveau de protection des filtres concernés, mais ne répond pas à l'exigence d'aptitude du filtre à assurer sa fonction sous l'action d'influences extérieures.

<sup>2</sup> BIA : Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz (Allemagne)

Afin de garantir aux utilisateurs de masques équipés de filtres électro-optiques le niveau de protection requis, il est proposé une méthodologie pour la validation de leur sûreté de fonctionnement qui s'ajoute à celle actuellement pratiquée pour la validation des filtres selon la norme EN 379. Cette méthodologie est schématisée à la *figure 4*.

Cette méthodologie a été élaborée en commun avec le BIA<sup>2</sup> dans le cadre d'une démarche globale incluant d'autres types EPI qui intègrent de l'électronique (protecteurs auditifs, appareils de protection respiratoire).

## 5. Définition des essais environnementaux proposés

### 5.1. Rappel des essais existants

La norme EN 379 prévoit les essais environnementaux, essentiellement climatiques, suivants :

- Vérification des performances du facteur de transmission et du temps de commutation à des températures extrêmes,
- Stabilité de la puissance optique à la chaleur,
- Solidité de construction face aux projectiles,
- Stabilité du facteur de transmission suite à une exposition prolongée au rayonnement UV,
- Non-propagation de la flamme suite à un contact thermique.

### 5.2. Éléments à prendre en compte pour la définition des essais proposés

Les types et les définitions des essais environnementaux complémentaires proposés doivent tenir compte, en premier lieu, de la nature et des caractéristiques des perturbations environnementales auxquelles le filtre électro-optique équipant un masque de soudage est susceptible de faire face au cours de son utilisation. Ils doivent correspondre à une réalité qui se trouve, pour certains essais, déjà transcrite dans la norme EN 379 ou dans les notices d'utilisation des filtres commercialisés.

Par ailleurs, comme cette méthodologie est principalement destinée aux organismes de certification, les propositions d'essais doivent également prendre en compte leur faisabilité tant sur le plan technique qu'économique sous peine de ne jamais les voir appliquées. En ce qui concerne la méthode d'application des perturbations environnementales, il est recommandé de se référer aux normes générales d'essais qui sont connues des laboratoires spécialisés dans les essais environnementaux.

Enfin, lorsque les performances relatives au niveau de protection nécessitent d'être vérifiées au cours des essais environnementaux, il ne doit pas se produire d'influence sur le mode d'action et les caractéristiques des perturbations environnementales appliquées. C'est le cas pour les perturbations électromagnétiques rayonnées s'il y a présence d'obstacles

métalliques dans le milieu d'essai. Pour certains essais (cf. § 5.4 et 5.6), le filtre peut être retiré du masque et subir seul les essais environnementaux.

### 5.3. Facteurs environnementaux retenus

En complément des essais préconisés par la norme EN 379 (cf. *tableau D*), les essais environnementaux proposés pour les filtres sont des essais mécaniques de compatibilité électromagnétique et de vérification du degré de protection de l'enveloppe contenant le circuit électronique (degré IP<sup>3</sup> selon NF EN 60529 [10]).

En effet, ces facteurs d'influence, agissant sur les circuits électroniques, se rencontrent dans la plupart des environnements où ont lieu les opérations de soudage. Le *tableau I* résume les facteurs environnementaux retenus et leur influence sur les circuits électroniques.

### 5.4. Essais climatiques

Comme indiqué au § 5.1, les essais climatiques concernant les performances relatives au niveau de protection sont prévus par la norme existante. La méthodologie d'essai est validée et utilisée par le PTB<sup>4</sup>. Il n'y a donc pas lieu d'en proposer une autre.

Une légère modification pourrait cependant consister à prévoir une température basse inférieure à -5° C, par exemple -15° C, justifiée par l'utilisation possible du filtre en extérieur.

### 5.5. Essai mécanique

Le filtre monté dans le masque de soudage est soumis trois fois de suite à une chute d'une hauteur de 1 m sur un sol en béton. Le côté facial du masque est tourné vers le sol. Les performances relatives au niveau de protection sont ensuite mesurées.

Cet essai mécanique, simulant des chutes possibles du masque lors de son utilisation, ne figure pas dans la norme EN 379.

Aucun essai de vibration n'est proposé car il ne correspond à aucune réalité pour un filtre électro-optique équipant un masque de soudage.

### 5.6. Perturbations électromagnétiques

Par analogie avec des composants de sécurité électroniques, le filtre est soumis à des essais d'immunité aux décharges électrostatiques et aux perturbations électromagnétiques rayonnées. L'essai aux perturbations conduites n'est pas applicable aux filtres du fait de l'absence de liaisons extérieures. Il est également soumis à une variation lente de sa tension d'alimentation. Le filtre peut être soumis à un ou plusieurs de ces trois types de perturbations en cours d'utilisation.

La méthode d'application des perturbations se fait selon les normes européennes de compatibilité électromagnétique :

- NF EN 61000-4-2 pour les décharges électrostatiques [11],

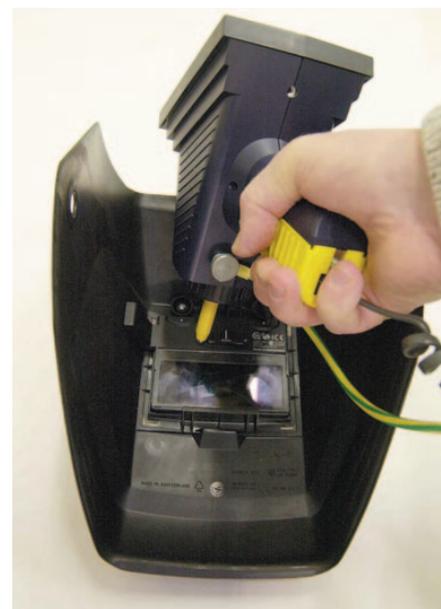
- NF EN 61000-4-3 pour les perturbations rayonnées [12].

L'essai d'immunité aux décharges électrostatiques s'effectue avec le niveau de sévérité 4, soit 15 kV. Comme les enveloppes des filtres sont réalisées en matière isolante, les décharges sont appliquées dans l'air. Le filtre est monté dans le masque avec son côté facial tourné vers le plan de référence du banc. Les décharges sont appliquées sur la face intérieure du filtre.

Les performances relatives au niveau de protection sont mesurées immédiatement après l'essai.

La *figure 5* montre la disposition du masque lors de l'essai d'immunité aux décharges électrostatiques.

**Fig. 5 : Essai d'immunité aux décharges électrostatiques - Electrostatic discharges immunity test**



Les perturbations électromagnétiques rayonnées sont appliquées avec le niveau de sévérité 3, soit 10 V/m, de 27 MHz à 1 GHz et le niveau 4, soit 30 V/m, de 800 à 960 MHz et de 1,4 à 2 GHz. Le filtre en essai est exposé selon deux axes perpendiculaires pour lesquels la probabilité d'influence des perturbations est estimée la plus grande.

Les performances relatives au niveau de protection sont mesurées à chaque pas de fréquence.

**TABLEAU I**

#### Facteurs environnementaux retenus et leur influence sur les circuits électroniques

ENVIRONMENTAL FACTORS RETAINED AND THEIR INFLUENCE ON THE ELECTRONIC CIRCUITS

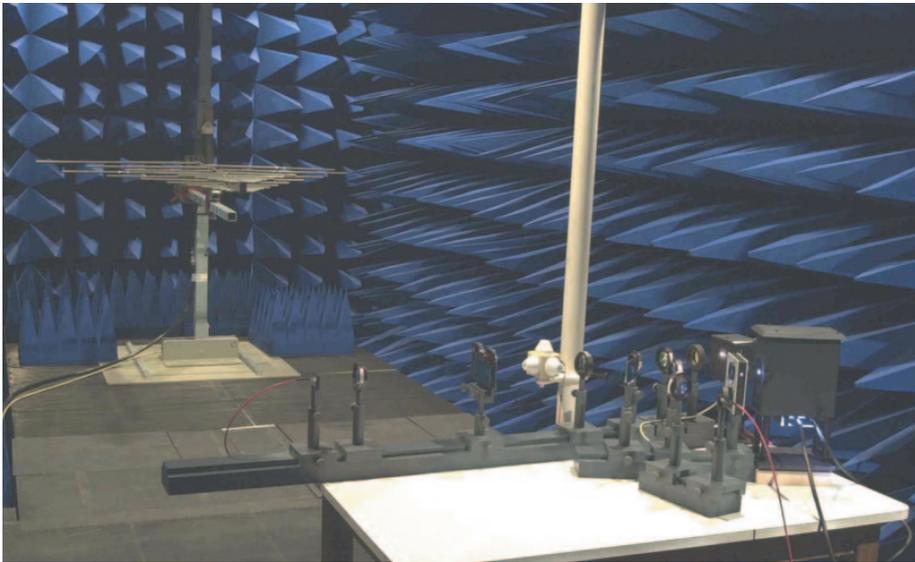
Facteur environnemental	Influence sur les circuits électroniques
Température (déjà prise en compte dans la norme)	Variation des caractéristiques de composants.
Mécanique	Chocs/vibrations : Rupture de liaisons électriques (cassures de pistes, débrogage de circuits intégrés).
Électromagnétique	Rayonnement : altération des informations. Décharge électrostatique : destruction de composants. Variation de la tension d'alimentation : absence de commutation.
Degré de protection IP	Pénétration d'eau, de poussière : Courts-circuits ou opposition au passage des informations suite à une oxydation des conducteurs.

<sup>3</sup> IP : Lettres caractéristiques relatives au degré de protection

<sup>4</sup> PTB : Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig (Allemagne).  
N° d'organisme européen certificateur : 0196

**Fig. 6 : Essai d'immunité aux perturbations électromagnétiques rayonnées**

- Radiated electromagnetic interference immunity test



Cet essai représente l'action d'un champ électromagnétique, dans lequel le circuit électronique du filtre peut se trouver.

La *figure 6* montre un filtre en cours d'essai d'immunité aux perturbations rayonnées. Comme le masque de soudage est réalisé en une matière sans propriété électromagnétique, le filtre en essai peut être retiré et soumis seul aux perturbations.

### 5.7. Variation de la tension d'alimentation

La variation lente de tension d'alimentation est un facteur d'influence qu'il est nécessaire de prendre en compte lors de l'utilisation de circuits électroniques. L'essai proposé préconise de faire varier la tension d'alimentation dans les limites de 15 % et de -30 % de la tension nominale. Cet essai s'effectue manuellement à l'aide d'une alimentation extérieure. Il représente un défaut ou une décharge de l'accumulateur ou de la pile alimentant le circuit électronique du filtre. Pour cet essai, il est nécessaire de disposer d'échantillons préalablement équipés par le constructeur de liaisons filaires permettant de connecter une alimentation extérieure.

Les performances relatives au niveau de protection sont mesurées durant l'essai.

### 5.8. Degré de protection de l'enveloppe

Cet essai représente les conditions d'utilisation possible du filtre en présence d'eau

et de poussière. Le boîtier constituant le filtre et contenant les circuits électroniques relatifs à la fonction de sécurité est soumis à un essai d'étanchéité aux poussières et à l'eau selon la norme NF EN 60529 [10]. Le degré à atteindre est au minimum IP 64, correspondant à une étanchéité aux poussières et une protection contre la pénétration d'eau suite à des projections.

## 6. Protocole expérimental

### 6.1. Performances du niveau de protection

Les mesures de performances effectuées lors des essais proposés concernent les facteurs de transmission correspondant aux états "clair" et "foncé" et le temps de commutation. En résumé, le facteur de transmission est le pourcentage de l'intensité lumineuse transmise à travers le filtre par rapport à celle incidente.

Le temps de commutation est le temps écoulé entre l'apparition de l'arc et l'état "foncé" du filtre. Il ne doit pas être confondu avec le temps de basculement du réseau de cristaux liquides beaucoup plus court (*cf. figure 1*).

Les valeurs concernant ces paramètres doivent rester dans les limites du tableau 3 de l'EN 379 pour le temps de commutation et celles du tableau 1 de l'EN 169 pour les facteurs de transmission<sup>5</sup>.

## 6.2. Montage expérimental

Pour les essais climatiques et électromagnétiques décrits précédemment, il est nécessaire de pouvoir disposer d'un montage permettant à la fois de placer le filtre en environnement perturbé et de mesurer de façon continue le temps de commutation et le facteur de transmission. La partie du montage d'essai exposée aux perturbations devra être la plus restreinte possible, être insensible aux perturbations et non perturbatrice elle-même. Restreinte, car elle devra pouvoir être placée sans difficulté dans le milieu d'essai (enceinte climatique, cellule "transverse électromagnétique TEM", chambre anéchoïque électromagnétique). Insensible aux perturbations thermiques et électromagnétiques, car ces dernières pourront perturber les instruments de mesure. Non perturbatrice, car elle pourra agir sur les perturbations appliquées et ainsi modifier les conditions d'essai, par conséquent, conduire à une non-reproductibilité des mesures.

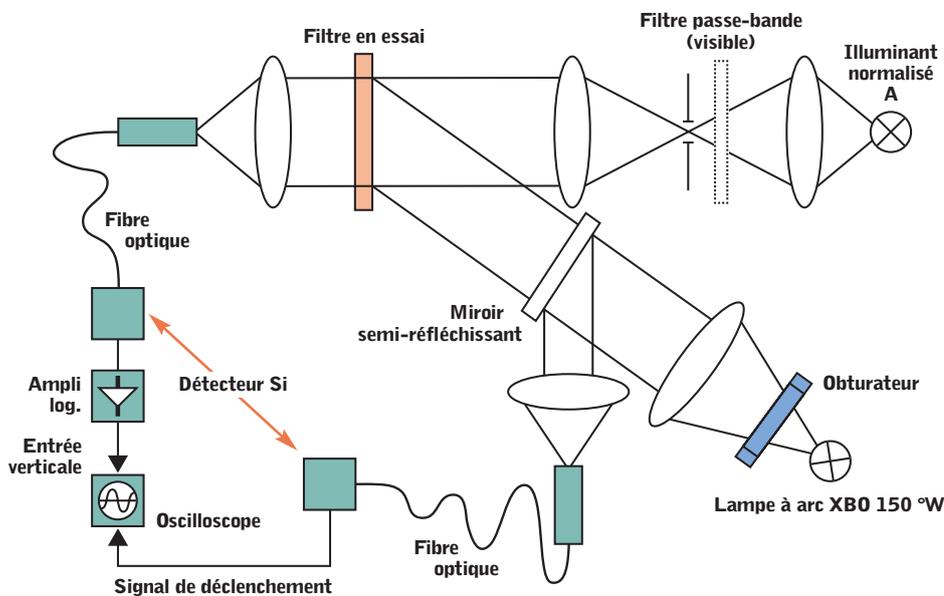
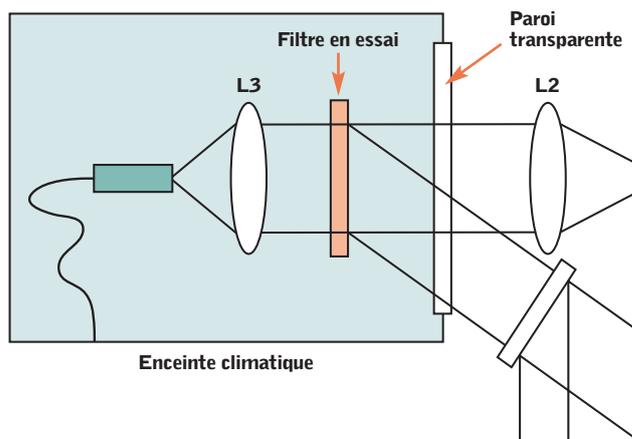
Par ailleurs, pour les facteurs de transmission faibles (numéros d'échelon élevés), les mesures doivent s'effectuer en chambre noire afin de ne pas générer des signaux parasites dont l'amplitude ne peut être négligée par rapport à celle des signaux de mesure.

La *figure 7* montre le schéma de principe du montage d'essai. Sa constitution et son principe de fonctionnement sont quasi identiques à ceux du montage conçu et utilisé par le PTB pour les mesures de performances des filtres électro-optiques [13].

La commutation du filtre électro-optique est commandée par le bref passage dans l'obturateur de la lumière UV issue de la lampe à arc et simulant une situation de soudage. Le facteur de transmission dans le visible est mesuré à l'aide du signal issu de l'illuminant normalisé A après filtrage UV et IR, et traversant le filtre électro-optique en essai. Une partie du signal de la lampe à arc sert à déclencher l'oscilloscope pour déterminer l'origine des temps correspondant à l'apparition de l'arc sur le filtre électro-optique.

L'oscilloscope mémorise le signal : celui qui traverse le filtre électro-optique en essai, et le rafraîchit à chaque nouvelle commutation.

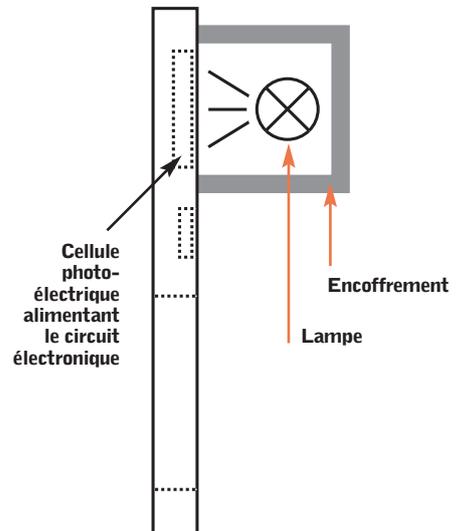
<sup>5</sup> Les définitions exactes de ces paramètres se trouvent dans les deux normes citées.

**Fig. 7 : Schéma de principe du montage d'essai** - *Diagram of the principle of the test set-up***Fig. 9 : Application des perturbations climatiques en enceinte***Application of climatic perturbation in the chamber*

Les fibres optiques ont été ajoutées pour placer les capteurs de mesure en dehors du milieu d'essai afin d'éviter leurs dysfonctionnements dus aux perturbations environnementales.

Les détecteurs au silicium (Si) fonctionnent dans le domaine visible et infrarouge ; ils sont équipés d'amplificateurs courant/tension intégrés, à gain et temps de réponse réglables (de 104 à 109 V/A pour le gain).

Un amplificateur logarithmique peut être placé entre le signal de sortie du détecteur Si et l'oscilloscope pour donner directement le numéro d'échelon. Le filtre disposé entre l'illuminant A et le filtre électro-optique est du type passe-bande. Il est centré sur la longueur d'onde de 550 nm (correspondant à la lumière de couleur verte) et ne transmet que la lumière visible. Il évite également la saturation des détecteurs Si, sensibles à la lumière infrarouge qui n'est pas réjectée

**Fig. 8 : Éclairage supplémentaire des cellules photoélectriques alimentant le circuit électronique** - *Additional lighting of the photoelectric cells supplying the electronic circuit*

par le filtre électro-optique. L'effet du rayonnement UV émis par l'illuminant A peut être négligé : d'une part, celui-ci est faible, et d'autre part, le détecteur Si n'y est pas sensible.

Les éléments mécaniques sont, dans la mesure du possible, réalisés en matière plastique afin de minimiser leur influence lors de l'application des perturbations électromagnétiques.

Pour les filtres non équipés d'alimentation autonome (cf. § 2), il y a lieu de prévoir un éclairage supplémentaire des cellules photoélectriques pour obtenir le fonctionnement souhaité. Le principe est indiqué à la *figure 8*. Une alimentation incorrecte peut provoquer une commutation à un échelon incorrect, une commutation partielle du filtre, voire une absence de commutation.

L'alimentation du circuit électronique par une source extérieure n'est pas envisageable, car cette disposition modifie sa constitution et, par conséquent, son immunité et son comportement en présence de perturbations. Un exemple peut être donné au travers du couplage perturbations électromagnétiques/liasons additionnelles injectant une tension induite dans le circuit.

Pour l'application des perturbations climatiques, le milieu d'essai est constitué par une enceinte climatique munie d'une paroi transparente (cf. *figure 9*).

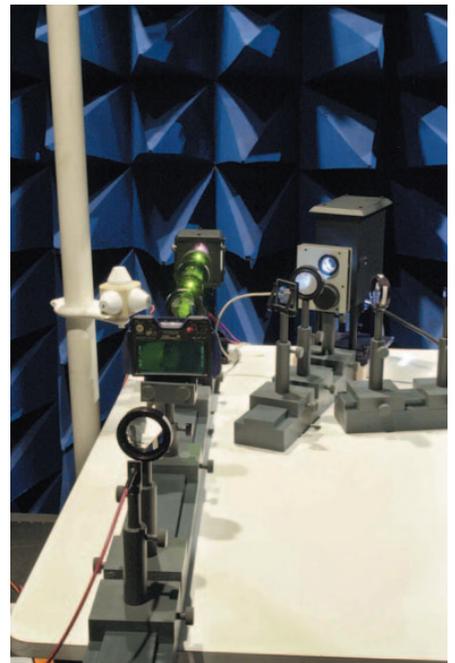
Une variante consiste en une cellule munie de hublots contenant uniquement le filtre en essai, alimentée par un flux d'air en circuit fermé à température contrôlée par une enceinte climatique (cf. figure 10).

La figure 11 indique la partie du montage située en milieu d'essai des perturbations électromagnétiques.

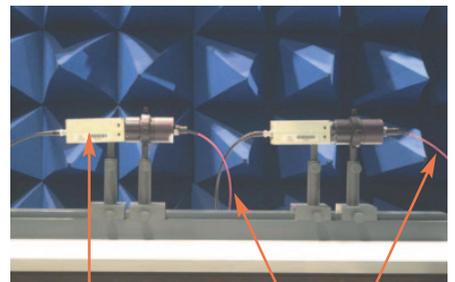
La figure 12 montre la réalisation pratique de la partie du montage d'essai placé en milieu d'essai aux perturbations électromagnétiques.

La figure 13 montre les détecteurs Si recevant les signaux lumineux (facteur de transmission et déclenchement oscilloscope) véhiculés par fibre optique.

**Fig. 12 : Partie du montage d'essai placé en milieu d'essai aux perturbations électromagnétiques** - Parts of the test set-up placed in the test medium to electromagnetic perturbation



**Fig. 13 : Détecteurs Si (normalement placés hors du milieu d'essai)** - « Si » detectors (usually placed outside the test area)

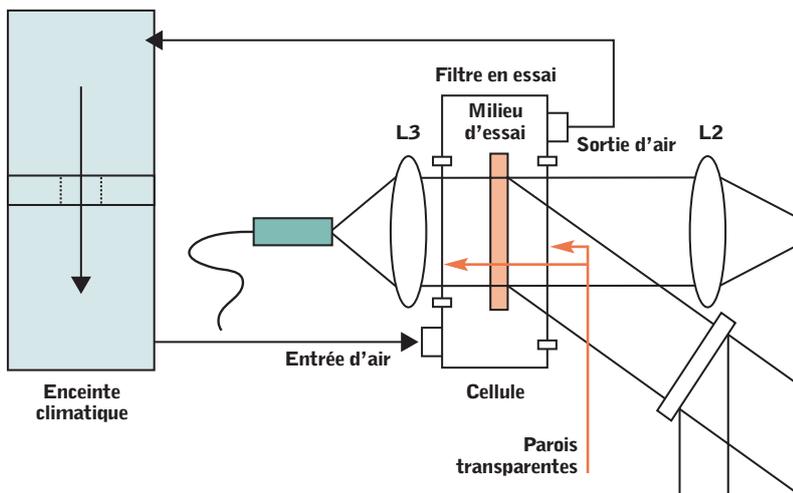


Détecteur Si avec amplificateur intégré

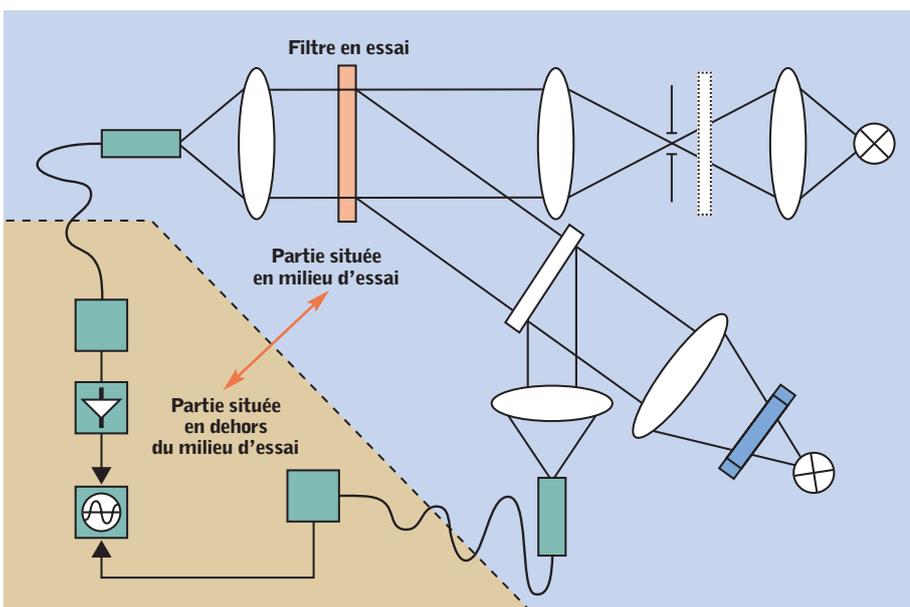
Fibre optique

**Fig. 10 : Variante de montage pour l'application des climatiques**

- Variant of the set-up for application to climatic perturbations



**Fig. 11 : Partie du montage non située en milieu d'essai pour l'application des perturbations électromagnétiques** - Parts of the set-up not located in the test medium for the application of electromagnetic perturbations



**Fig. 14 : Cellule alimentée en flux d'air à température contrôlée par une enceinte climatique** - Cell supplied with an air flow whose temperature is controlled by a climatic chamber



Sortie d'air      Cellule      Entrée d'air

La *figure 14* montre la cellule alimentée en flux d'air à température contrôlée par une enceinte climatique.

### 6.3. Méthode de mesure des performances relatives au niveau de protection

Le montage expérimental ne permet pas d'effectuer simultanément la mesure du temps de commutation et des deux facteurs de transmission correspondant aux états « clair » et « foncé ». Cela est dû à la très grande différence de niveau des signaux lumineux correspondant à ces deux états. Il serait nécessaire d'avoir des réglages de gain très différents de l'amplificateur intégré et de l'oscilloscope, ce qui n'est pas réalisable en une seule mesure.

La mesure des performances du niveau de protection s'effectue donc en trois parties : une correspondant au temps de réaction et les deux autres, aux facteurs de transmission des états « clair » et « foncé ».

Pour ce montage, le facteur de transmission, mesuré dans le visible, s'exprime par le pourcentage de la tension électrique en sortie du détecteur Si en présence du filtre électro-optique par rapport à la tension obtenue en l'absence du filtre, en

tenant compte du gain fixé pour chaque mesure.

La valeur absolue du facteur de transmission est normalement mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre en l'absence de perturbations environnementales. La méthodologie proposée n'a pas pour but de déterminer la valeur absolue du facteur de transmission, mais d'en déterminer les éventuelles variations relatives en fonction des contraintes environnementales appliquées. Par conséquent, une mesure servant de référence est tout d'abord effectuée en l'absence de perturbations selon la méthodologie proposée.

La mesure du facteur de transmission à l'état « clair » ne nécessite pas de commutation et s'effectue en mode statique en utilisant uniquement l'illuminant « A ».

La mesure du facteur de transmission à l'état « foncé » après commutation nécessite un gain élevé de l'amplificateur du détecteur Si. Cela provoque un phénomène de désaturation de son amplificateur, entraînant un retard supplémentaire de commutation. La mesure du facteur de transmission à l'état « foncé » ne peut donc être utilisée pour une mesure de temps de réaction du filtre.

La *figure 15* montre un exemple de mesure de la tension correspondant à l'état « foncé », obtenu après commutation.

La mesure du temps de commutation doit s'effectuer dans la plage linéaire de l'amplificateur du détecteur, ce qui évite le phénomène de saturation mentionné plus haut.

Le temps de commutation est mesuré à l'aide de l'oscilloscope qui visualise le passage de l'état « clair » à l'état « foncé » (*cf. figure 1*). Lors de cette mesure, les facteurs de transmission correspondants ne sont pas mesurés. Le temps de commutation est calculé à l'aide de la formule figurant dans la norme EN 379 à partir de la mesure à l'oscilloscope.

La *figure 16* montre deux oscillogrammes résultant de la mesure du temps de commutation de différents filtres. Elle met en évidence un temps de latence non négligeable avant la commutation du réseau de cristaux liquides. Le flux lumineux traversant le filtre entre l'apparition de l'arc et son passage à l'état « foncé » ne doit pas porter préjudice à la santé oculaire de l'utilisateur.

**Fig. 15 : Tension correspondant à un état "foncé" après commutation**  
- Voltage corresponding to a « dark » after switching

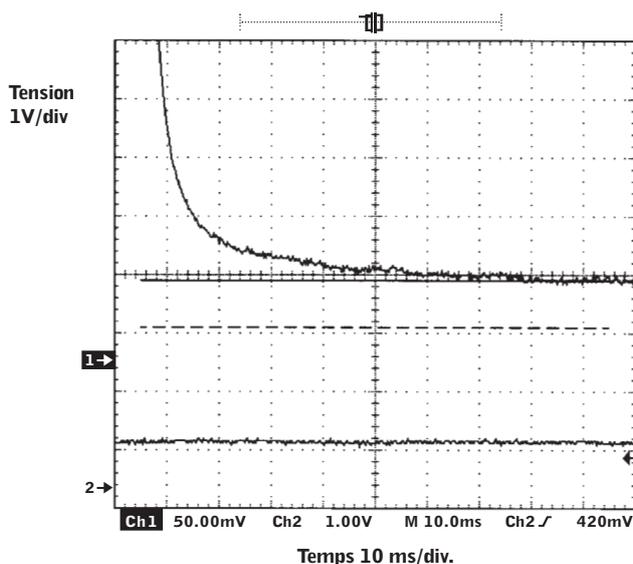
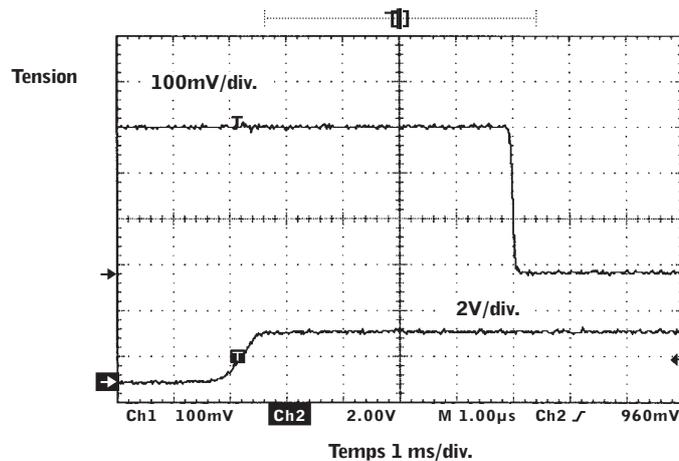
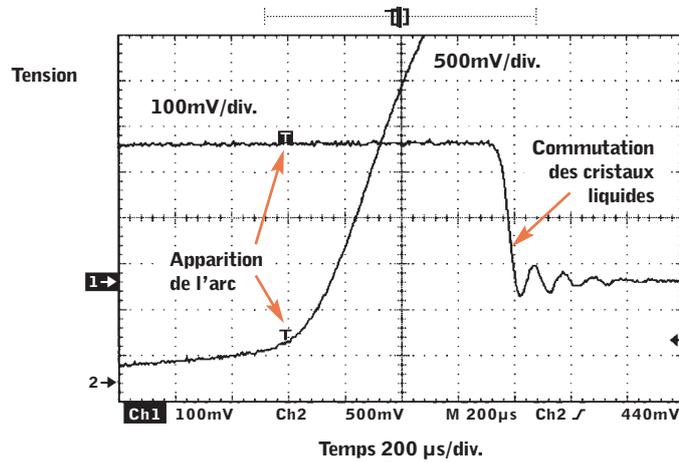


Fig. 16 : Exemple de mesure du temps de commutation - *Examples of measuring the switching time*



## 7. Conclusion

L'utilisation de l'électronique dans les filtres électro-optiques équipant les masques de soudage doit toujours conduire à s'interroger sur le maintien du niveau de protection assuré par ce type de protecteur en présence de défaillances et de contraintes environnementales. Cette interrogation concerne non seulement l'utilisateur et le préventeur, mais aussi le concepteur et le certificateur de l'équipement.

De même que dans le domaine de la sécurité des machines, l'électronique peut être utilisée dans le domaine de la protection individuelle dont font partie les filtres électro-optiques. Cela nécessite de prendre en compte l'aspect sûreté de fonctionnement dès la conception, puis

de procéder à sa validation à l'aide d'un référentiel incluant une méthodologie appropriée.

La partie expérimentale de cette méthodologie, qui prend en compte certaines contraintes environnementales, a été validée suite à son application sur un échantillon de filtres commercialisés acquis par le laboratoire. Excepté pour certains filtres, aucune difficulté n'a été relevée pour l'activation de la fonction de protection durant les essais préconisés et pour la vérification de ses critères de performance.

Les essais environnementaux effectués selon la méthodologie proposée ont montré leur faisabilité. Pour certains filtres, les essais ont mis en évidence des dysfonctionnements. Ces derniers ne conduisent pas à une dégradation du niveau de protection, mais mettent en

évidence l'inaptitude de certains filtres à répondre aux exigences de la catégorie B concernant les influences extérieures. Ce résultat, bien qu'il ne soit pas généralisable à tous les filtres, est cependant suffisant pour démontrer la pertinence de la méthodologie proposée.

Cette démarche se veut un complément méthodologique de validation ; elle s'adresse, dans un premier temps, aux experts de la normalisation, qui disposent ainsi d'éléments pour introduire un chapitre relatif à l'aspect sûreté de fonctionnement des filtres électro-optiques dans les normes les concernant. Il devrait en résulter une prise en compte de cet aspect par les constructeurs et la possibilité, pour les experts concernés, de procéder à l'analyse et à la certification de ce type d'EPI à l'aide du complément de méthodologie proposé.

## BIBLIOGRAPHIE

[1] 89/686/EEC — Directive du Conseil du 21 décembre 1989 concernant les lois des États Membres relatives aux équipements de protection individuelle. *Journal Officiel des Communautés européennes*, L 399, 30/12/1989, pp. 0018-0038.

[2] BUCHWEILLER J.P., MAYER A., IOTTI J.M., KUSY A., REINERT D., CHRIST E. — Équipements de protection individuelle comportant des circuits électroniques – Sûreté de fonctionnement. *Hygiène et sécurité du travail – Cahiers de notes documentaires*, ND 2128-179-00, 2000, pp. 51-60.

Zuverlässigkeit persönlicher Schutzausrüstung mit integrierter Elektronik. *Die BG Fachzeitschrift für Arbeitssicherheit, Gesundheitsschutz und Unfallversicherung*, A8833, April 2000, pp. 209-215.

[3] EN 1050 — Sécurité des machines – Principes pour l'appréciation du risque. AFNOR, Paris, 1996, 20 p.

[4] EN 954-1 — Sécurité des machines – Parties des systèmes de commande relatives à la sécurité. Partie 1 : principes généraux de conception. AFNOR, Paris, 1996, 46 p.

[5] prEN 954-2 — Projet de norme Sécurité des machines – Parties des systèmes de commande relatives à la sécurité. Partie 2 : validation. AFNOR, Paris, 1999, 67 p.

[6] EN 379 — Spécifications concernant les filtres de soudage avec facteur de transmission dans le visible commutable et les filtres de soudage avec double facteur de transmission dans le visible. AFNOR, Paris, 1994, 10 p.

[7] NF EN 169 — Protection individuelle de l'œil – Filtres pour le soudage et les techniques connexes. AFNOR, Paris, 1992, 9 p.

[8] KLEIN, R. — Équipements de protection respiratoires autonomes – Validation de la sûreté de fonctionnement des appareils comportant des circuits électroniques. *Hygiène et sécurité du travail – Cahiers de notes documentaires*, ND 2181-189-02, 2002, pp. 27-33.

[9] NF EN 61000-6-2 — Compatibilité électromagnétique (CEM). Partie 6-2 : normes génériques – immunité pour les environnements industriels. AFNOR, Paris, 1999, 16 p.

[10] NF EN 60529 — Degrés de protection procurés par les enveloppes (Code IP). AFNOR, Paris, 1992, 43 p.

[11] NF EN 61000-4-2 — Compatibilité électromagnétique (CEM). Partie 4 : techniques d'essai et de mesure. Section 2 : essais d'immunité aux décharges électrostatiques. AFNOR, Paris, 1995, 35 p.

[12] NF EN 61000-4-3 — Compatibilité électromagnétique (CEM). Partie 4 : techniques d'essai et de mesure. Section 3 : essais d'immunité aux champs électromagnétiques rayonnés aux fréquences radioélectriques. AFNOR, Paris, 1997, 29 p.

[13] SUTTER E., MÖLLER W. — Schaltzeit elektrooptischer Filter – Starting time of electro-optical filters. *Zbl. Arbeitsmed.* 38, PTB Braunschweig, Allemagne, 1988, pp. 36-45.

