

MB Optique

Article CMOI

**Méthodes de mesurage et Indications sur les dessins
sont les deux mamelles du progrès industriel**

Michael Bray

MB Optique, 26 ter rue Nicolai, 75012 Paris, France

Deuxième colloque francophone :
Méthodes et Techniques Optiques pour l'Industrie
SFO/CMOI
Trégastel, 2001

MB Optique

26 ter, rue Nicolai - 75012 Paris - France

TEL +33 (0)1 53 17 64 01

FAX +33 (0)1 53 17 05 06

WEB www.mboptique.com

Page laissée blanche
intentionnellement

Méthodes de mesurage et Indications sur les dessins sont les deux mamelles du progrès industriel

Michael Bray
MB Optique, 26 ter rue Nicolai, 75012 Paris, France*

RÉSUMÉ

Les progrès en matière de conception optique, et les progrès en matière de fabrication optique, comme dans toute autre domaine technique, devraient idéalement se réaliser de façon parallèle et continue.

Il est impossible d'assurer un tel progrès sans une force dirigeante maîtresse. Le mode économique qui sévit actuellement (depuis longtemps), cloisonnant les forces vives dans des unités économiques obligées d'être individuellement rentables, ne favorise pas le progrès : Le concepteur se cantonnera sans risques dans les solutions éprouvées; Le fabricant n'essaiera aucune technique nouvelle sans commande expresse;

La normalisation n'a pas pour objet premier la résolution de tels conflits, mais participe à cette résolution de façon indirecte. On illustrera ce propos en montrant la structure du sous-comité ISO « Normes d'optique fondamentales », au sein duquel œuvrent en particulier les groupes de travail « Méthodes de mesurage » et « Indications sur les dessins », ce dernier étant dirigé par l'auteur de cet article.

En nous référant au monde de l'optique industrielle, nous montrons comment les procédures de création des normes, en favorisant les échanges, peuvent forcer le progrès technique et, dans le même temps, donner un avantage non négligeable à ceux (Pays, Sociétés, Individus) qui participent activement à la normalisation.

L'auteur est expert ISO depuis 1990 (Normes d'optiques fondamentales), chef de la délégation française aux réunions internationales « Optique - Normes fondamentales » depuis 1995, et dirige le groupe de travail « indications sur les dessins » depuis 1999.

Mots-Clés : Normalisation, ISO, Métrologie, Indication sur les dessins.

* Mél : michael.bray@mboptique.com - Tél : +33 (0)1 53 17 64 01 - Fax : +33 (0)1 53 17 05 06

1. INTRODUCTION

Les normes ne sont pas des écritures imposées aux industriels par une mystérieuse force supérieure mais, bien au contraire, des recueils de procédures qui ont obtenu, par un processus de votes internationaux, un large consensus auprès des gens mêmes qui les utiliseront.

Dans le présent article, nous limiterons la discussion aux deux objectifs d'une norme technique :

1. Codifier le bon usage en vigueur dans l'industrie;
2. Normaliser les indications qui seront portées sur les plans et autres documents afférents.

On devine déjà les deux mamelles dont il est question dans le titre de cet article, à savoir :

1. Méthodes de mesurage;
2. Indications sur les dessins.

Remarquons que l'utilisation de ces normes techniques est rarement obligatoire. Toutefois, pour ce qui concerne l'optique industrielle, les normes ISO sont bien acceptées par la plupart des pays concernés, malgré quelques dissensions apparaissant de temps en temps, au gré des velléités nationales et des retombées économiques de l'utilisation de ces normes.

Nous ignorons ici les objectifs de certaines autres types de normes comme, par exemple, les normes relatives à la sécurité des matériels, dont l'application peut être réglementée par loi.

D'autre part, les exemples fournis sont principalement relatifs à la spécification des déformations de la surface d'onde à l'exclusion, par exemple, de spécifications mécaniques (centrage), de défauts locaux (rayures, piquûres), etc.. Cette restriction nous permet de conserver un fil conducteur simple, tout en permettant une illustration adéquate du présent propos.

2. LE COMITE TECHNIQUE ISO/TC 172 : « OPTIQUE ET INSTRUMENTS D'OPTIQUE »

Le comité technique ISO/TC 172 « Optique et Instruments d'optique » gère toutes les normes optiques relatives aux instruments utilisant le rayonnement optique.

Ce comité technique est divisé en sous-comités techniques, dont une liste complète figure en annexe A.1. Le sous-comité ISO/TC 172/SC 1 « Normes fondamentales » gère les normes optiques d'application générale.

2.1. ISO/TC 172/SC 1 : Travaux

Nous indiquons ci-dessous quelques projets de normes qui illustrent les propos du présent article :

- Groupe de travail ISO/TC 172/SC 1/WG 1 « Méthodes générales de mesurage » :
WD 14999 : « Mesurage interférométrique des composants et systèmes optiques »
 Ce projet de norme compte actuellement 4 parties en projet (énumérées en annexe);
 D'autres normes sont gérées ce groupe de travail : Mesurage de la distorsion, du chromatisme (longitudinal, latéral), de l'illumination relative dans le champ, etc.
- Groupe de travail ISO/TC 172/SC 1/WG 2 « Indications sur les dessins » :
ISO 10110 : « Indication des tolérances pour les éléments et systèmes optiques »

Ce projet de norme compte actuellement 15 parties (énumérées en annexe), dont 3 projets; D'autres normes sont gérées par ce groupe de travail, mais la famille ISO 10110 a été le projet majeur de ces derniers temps.

2.2. Élaboration d'une norme

Afin de familiariser le lecteur avec le processus de création d'une norme ISO, nous indiquons ci-dessous, brièvement, les étapes menant de l'idée initiale à sa publication :

- Proposition initiale;
- Projet du groupe de travail;
- Projet du sous-comité (ISO-CD « Committee Draft »);
- Projet du sous-comité (ISO-DIS « Draft international Standard »);
- Projet du sous-comité (ISO-FDIS « Final Draft International Standard »);
- Publication de la norme (ISO).

Les normes ne sont pas des documents statiques. Après publication, elles sont susceptibles d'évoluer pour diverses raisons. En particulier, elles subissent des révisions régulières :

- Révision(s) quinquennale(s)

La durée de la procédure ci-dessus (Jusqu'à la première publication) dépend de l'importance des révisions à effectuer par le groupe de travail concerné, après chaque étape de vote international.

Les votes internationaux (CD, DIS et FDIS) ont des durées variables selon l'étape, de 2 à 6 mois selon la phase. Les correspondants de l'ISO sont chargés de la diffusion des projets dans le pays concerné (en France : AFNOR).

La durée totale de la procédure, jusqu'à la *publication* de la norme est comprise, approximativement, entre 3 et 5 années, en fonction des révisions à apporter au projet à chaque étape de vote. ISO interdit les procédures trop longues, et impose de fait une durée minimale par les délais des votes internationaux.

3. UN EXEMPLE : LES SPECIFICATIONS OPTIQUES DU LASER MEGAJOULE

Nous relatons ici les travaux sur le Laser MégaJoule qui pourraient bien aboutir à la création de nouvelles normes d'indication et de métrologie des surfaces d'onde.

Bien que le CEA-DAM ne soit pas une industrie, c'est à l'industrie que la réalisation du Laser MégaJoule a été confiée, après la phase d'étude. De ce fait, pour ce projet, le CEA peut être considéré comme un acteur industriel.

3.1. Laser MégaJoule

Vers le milieu des années 1990, le CEA eut besoin de passer de l'étude du *Laser MégaJoule* à sa réalisation. En particulier, les composants optiques devaient être spécifiées de manière à répondre au double critère suivant :

1. Qualité de la surface d'onde *finale* (au niveau de la cible);
2. Réalisation économique en milieu industriel;

De ce fait, les consignes du CEA pour l'écriture de ces spécifications étaient les suivantes :

1. Corrélées avec les performances finales du Laser MégaJoule (→ spécifications complexes);
2. Compréhensibles et acceptables par les industriels (→ spécifications simples);
3. Mesurables par les moyens de métrologie existants;

La première consigne est prise en compte par le modèle numérique de simulation de la chaîne laser, et sort du cadre de cet article. Notons, toutefois, la contradiction de résultats avec la deuxième consigne.

La deuxième consigne est du ressort de *l'indication sur les dessins*, et la troisième consigne de celle des *méthodes de mesurage*.

Dès le début des travaux, la question de l'utilisation des normes ISO, celle de la série 10110 en particulier, se posa. En l'occurrence, une partie des spécifications du laser MégaJoule a pu être indiquée avec ISO 10110, comme nous verrons un peu plus loin.

Le *Laser Phébus* a été réalisé au début des années 1980 (France, USA). Les spécifications optiques, et la fabrication des composants optiques a, semble-t-il, posé moins de problèmes que ne semble en générer le Laser MégaJoule, si on en juge par les propos du paragraphe précédent. Quelle différence y avait-il donc entre ces deux lasers, pourtant très similaires quant à leur usage ?

3.2. L'évolution des techniques

La différence entre le Laser Phébus (1980) et le Laser MégaJoule (1995) tient ... à tout autre chose que les lasers eux-mêmes :

- Les techniques de fabrication moderne permettent de corriger des défauts de petites dimensions, sur des composants de grandes dimensions (*usinage local, assistance par ordinateur, etc.*). Elles permettent donc également ... de les générer !
- Comme toutes les spécifications optiques établies il y a une vingtaine d'année, celles du Laser Phébus étaient mal définies quant à leurs domaines de périodes spatiales (Car ces dernières étaient totalement absentes des normes de l'époque). En fait, c'était les appareils de métrologie qui filtraient les mesures, en raison des caractéristiques de leurs capteurs.

Cet état de choses fut reconnu lors de l'étude industrielle du Laser MégaJoule et, parallèlement à l'étude interne des spécifications, le CEA mena une campagne d'information auprès des fournisseurs pour expliquer et justifier la nécessité des spécifications établies.

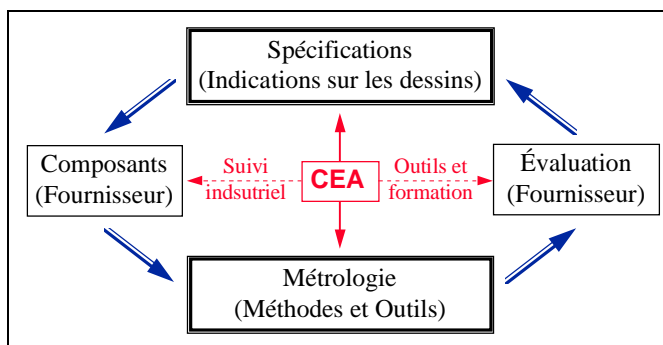


Figure 1 : Cycle d'établissement des spécifications

La figure ci-contre illustre le cycle de mise au point des spécifications, qui doivent nécessairement tenir compte des caractéristiques des appareils de production. Ce cycle permet la rédaction de spécifications industriellement optimales.

Les premiers composants ont équipé la *LIL (Ligne d'Intégration Laser)*, destinée à tester toutes les hypothèses d'étude du Laser MégaJoule.

Des outils numériques d'évaluation, traitant les mesures effectuées par des instruments de mesurage interférométriques couramment disponible dans le commerce[†], furent également élaborés afin de calculer les quantités spécifiées à partir des interférogrammes des composants.

[†] Mis à part l'*Interféromètre à Couplage de Zones*, développé pour la circonstance par l'auteur, alors à Cilas.

Les figures ci-dessous illustrent le chemin parcouru dans l'établissement des tolérances de déformation de surfaces d'onde des lasers *Phébus* et *MégaJoule* :

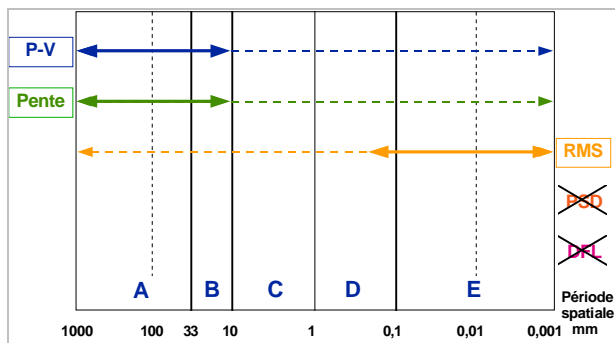


Figure 2 : Spécifications Phébus - Schéma

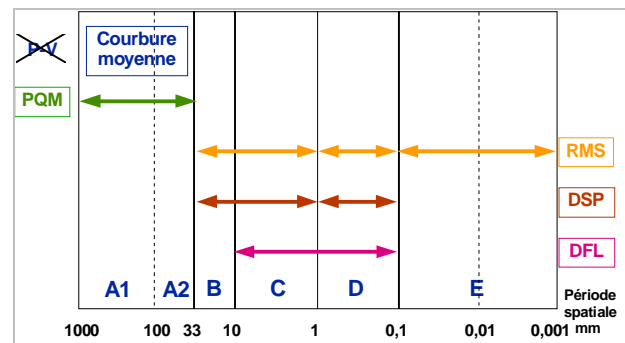


Figure 3 : Spécifications MégaJoule - Schéma

Légende :

- P-V : *Pic-à-Vallée* : Amplitude totale de la surface d'onde
- PQM : *Pente Quadratique Moyenne*, homologue de la *Hauteur Quadratique Moyenne*, paramètre créé spécialement pour le Laser MégaJoule.
- RMS : *Root Mean Square (Écart Quadratique Moyen)* de la surface d'onde.
- DSP : *Densité Spectrale de Puissance*. Son intégrale sur une bande de fréquences spatiales donnée est le carré du RMS défini ci-dessus, pour la bande spectrale en question.
- DFL : *Défauts de Forme Locaux*, critère en rapport avec les surintensités locales du flux laser. La spécification donne la « hauteur d'une bosse locale » de la surface d'onde, en fonction de son « diamètre ». Le graphe qui en résulte [Longueur en fonction d'une longueur] possède une vague ressemblance formelle avec la DSP [Longueur au cube en fonction (de l'inverse) d'une longueur].

Les flèches à traits interrompus, de la Figure 2, correspondent à des bandes de périodes spatiales inaccessibles aux instruments utilisés à l'époque mais qui, en interprétant rigoureusement les spécifications telles qu'elles étaient rédigées, auraient *du* être prises en compte. La limitation spectrale naturelle des instruments, indiquée ici en flèches à traits pleins, est un paramètre important de la métrologie des surfaces d'onde, aujourd'hui encore.

3.3. Laser MégaJoule et Normes ISO

3.3.1. Indications sur les dessins

Nous indiquons ci-dessous les références des normes ISO utilisables pour les spécifications de surface d'onde MégaJoule décrites ci-dessus :

- Courbure Moyenne : ISO 10110 - 5
- PQM : (aucune)
- RMS : ISO 10110 - 08
- DSP : ISO 10110 - 08
- DFL : (aucune)

NOTA : ISO 10110-08, en toute rigueur, ne concerne que les *dioptries*, et non la surface d'onde, qui est la seule quantité considérée dans le Laser MégaJoule. Toutefois, il est quasi-impossible, dans la pratique, de mesurer les défauts de *surface d'onde* de périodes spa-

tiales trop petites. Pour ces petites périodes (Inférieures à 1 mm environ), on mesure donc la rugosité de chaque *face*, et l'on obtient l'effet sur la *surface d'onde* par calcul.

On a volontairement omis d'autres paramètres ne concernant pas directement la surface d'onde, mais qui y contribuent indirectement.

On remarque que deux quantités ne peuvent pas être tolérancées avec les normes ISO en vigueur actuellement : PQM et DFL.

Nous verrons ci-dessous comment les procédures de création des normes peuvent amener ce paramètre à devenir une spécification normalisée ISO.

3.3.2. Métrologie de la surface d'onde

Les moyens classiques seront utilisés, en particulier l'interférométrie. Cette dernière comprend plusieurs types d'appareils qui ne diffèrent, en réalité, que par des aspects pratiques liés aux longueurs de Fresnel des défauts mesurés (Valeurs illustratives) :

- Interféromètres (Dimension utile d'environ 1000 mm);
- Profilomètres (Zone utile d'environ 1 mm);

En réalité, les instruments ci-dessus laissent un « trou » dans les fréquences spatiales : la résolution pratique d'un interféromètre de dimension utile 1000 mm est égale, au mieux, à plusieurs millimètres et, ce, dans les meilleures conditions de réglage (mise au point, diffraction, etc.).

C'est pour cela qu'un instrument, l'Interféromètre à Couplage de Zones a été développé à Cilas, par l'auteur, au milieu des années 1990. Celui-ci conserve la résolution latérale de l'instrument de dimensions ordinaires (\varnothing 100 à 150 mm), tout en recréant la surface complète par calcul sur une mosaïque de mesures effectuées sur toute la surface du composant. Les caractéristiques de tels instruments sont bien adaptées à la métrologie des optiques du Laser MégaJoule.

- Il y a actuellement un projet de norme (ISO 14999), en quatre parties, traitant de la métrologie des surfaces d'onde. Toutefois, le couplage de zones est (industriellement) trop nouveau pour que son utilisation fasse déjà l'objet d'une norme. Il faudra, pour cela, attendre que l'état de l'art ait atteint un minimum de maturité (Revoir le début l'introduction).

4. UNE SUITE POSSIBLE AUX TRAVAUX DU LASER MEGAJOULE

Les travaux menés en vue de la spécification des optiques du Laser MégaJoule, exposés au chapitre 3 ci-dessus, pourraient aider à compléter les normes ISO actuelles, principalement en ce qui concerne les indications sur les dessins.

Pour ce faire, il faut un chef de projet (pris dans le sens général du terme) : Il s'agit généralement d'une personne ayant un intérêt dans le domaine technique correspondant. Ce pourrait être :

- Le CEA, afin de concrétiser ses développements sur le Laser MégaJoule, et ainsi conforter sa position de « définisseur (intelligent[‡]) d'optiques ».
- Un fabricant d'optiques, qui voudrait maîtriser cette nouvelle norme et, ainsi, ne pas être pris au dépourvu quand ladite norme sera publiée.
- Un fabricant d'instruments de métrologie des surfaces d'onde, pour les mêmes raisons que le fabricant d'optiques mentionné ci-dessus.

[‡] On rappelle que *intelligence* vient du Latin, *intelligere*, « comprendre ».

5. LA NORMALISATION OPTIQUE EN FRANCE

Ne nous leurrions pas : Les normes sont créées *par* l'industrie et *pour* l'industrie. Ceci implique que les normes, au même titre que les autres activités industrielles, possèdent une composante économique non négligeable.

Mais, l'industrie de l'optique en France, comme la plupart des activités industrielles dans le monde, a subi depuis longtemps une mutation, évoquée dans le résumé de cet article : L'unité de temps élémentaire n'est plus régie par l'activité industrielle (quelques années), mais par l'activité financière (un an, voire moins). Il est devenu plus petit que la durée de création d'une norme !

Les décideurs ne « voient » donc plus l'intérêt de participer à la normalisation.

De fait, la France a vu l'effectif de ses experts ISO décroître avec les départs en retraite, sans qu'il y ait renouvellement; Et, ce, malgré les vœux pieux de quelques responsables industriels français.

Ceci est d'autant plus dommage que la France a été le berceau de l'optique moderne, et la qualité de ses laboratoires et de ses industries n'est plus à démontrer. Par ailleurs, la France a toujours été très présente dans la normalisation ISO, malgré la diminution des effectifs susmentionnée.

Nous verrons dans le chapitre suivant deux exemples de « réussites industrielles » auquel l'auteur a été directement associé au cours de sa carrière industrielle, grâce à sa participation active à la normalisation optique.

6. L'ELABORATION DES NORMES ISO: L'INTERET A Y PARTICIPER

On illustre ici l'intérêt de la participation à la normalisation par deux exemples auquel l'auteur a été personnellement associé :

6.1. Le premier rugosimètre au monde normalisé ISO 10110 ...

Au cours d'une réunion ISO internationale à Tokyo, en 1991, l'auteur a pu s'entretenir avec un spécialiste reconnu de la « rugosité ». En une demi-heure à peine, il comprit que l'achat d'un rugosimètre par son entreprise d'alors (Cilas) avait été insuffisamment préparé, par manque de connaissances de l'auteur sur le sujet en question.

Il arrêta la procédure (à moins d'un jour près ...), reformula le cahier des charges, et obtint d'un fournisseur la promesse écrite de la fourniture d'un module d'analyse conforme à ISO 10110-08, module qui fut livré après développement par le fabricant.

Ceci se passait en 1991. La norme en question ne fut publiée que 5 ans plus tard ... en 1996 !

Toutes les parties étaient gagnantes : Elles pouvaient, toutes deux, mettre en avant des caractéristiques répondant à la norme ISO relative à la rugosité. Par ailleurs, l'auteur a pu mettre en œuvre les connaissances ainsi acquises, et faire progresser la métrologie optique dans son entreprise.

Seule la participation de Cilas aux travaux de normalisation lui a permis de prendre une telle avance en rugosimétrie industrielle.

6.2. L'intérêt pour les petites entreprises innovantes

Nombreuses sont les occasions où l'auteur a pu utiliser sa connaissance du monde normatif comme argument commercial pour ses produits de métrologie. Parfois, c'est le client lui-même

qui, connaissant l'implication de MB Optique dans la normalisation, demande d'entrée de jeu un matériel répondant à la norme afférente ...

Par ailleurs, ceux qui participent à la normalisation rédigeront des textes dont, logiquement, ils maîtrisent les implications. Ceci, après la publication de la norme, les favorisera, peu ou prou.

Toutefois, les nombreuses étapes de votes internationaux garantissent (si les personnes concernées veulent bien y répondre ...) que la forme finale de la norme publiée est bien acceptable par tous les utilisateurs. À ces derniers de prendre les mesures qui s'imposent pour rester dans la course ...

7. CONCLUSION

Nous avons illustré l'intérêt de la participation au processus normatif par quelques exemples tirés d'activités industrielles récentes. On a volontairement mis l'accent sur le couple Métrologie/Spécification, deux disciplines qui sont interdépendantes, et dont les progrès constants facilitent l'étude et la réalisation de systèmes optiques toujours plus complexes et performants.

L'importance de l'interaction entre ces deux disciplines est, d'ailleurs, concrétisée par l'existence d'un groupe de travail conjoint WG 1-WG 2 (Voir annexe A.1).

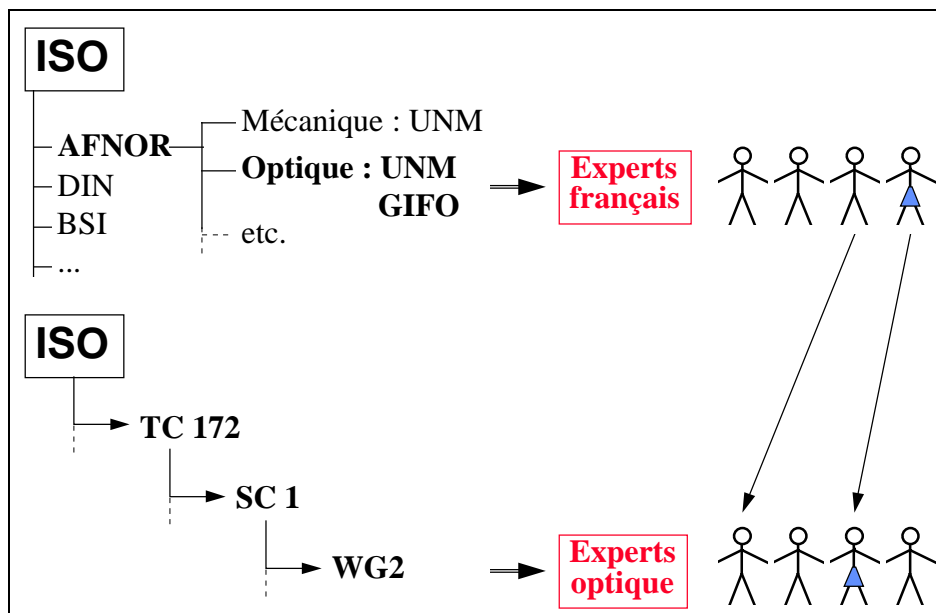
On a vu que le progrès technologique ne venait pas d'une génération spontanée mais, au contraire, d'un processus d'apprentissage et de diffusion du savoir, deux actions que la normalisation facilite.

Ce processus est mis en œuvre par des acteurs humains qui, en échange d'un travail de réflexion et de mise en forme, en retirent un avantage certain. Un avantage technique et économique, certes, mais également un plaisir d'avoir participé à cette forme de diffusion du savoir.

Il ne tient qu'à vous, cher lecteur, d'apporter votre expérience à la normalisation ISO : Prenez contact avec l'auteur de cet article pour connaître la marche à suivre ...

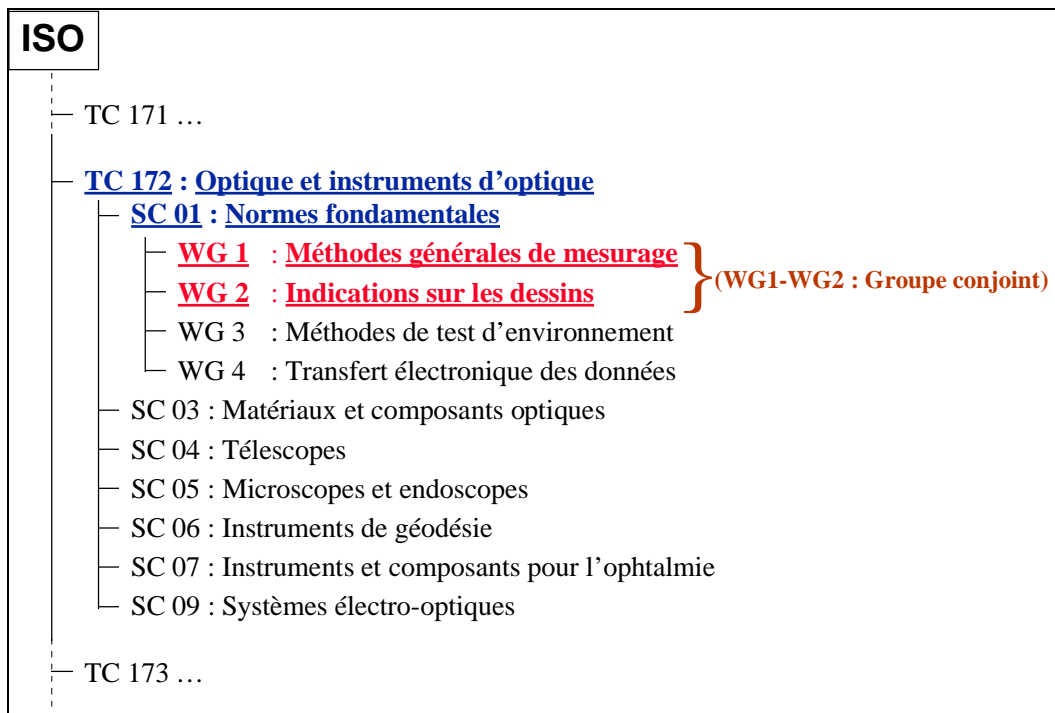
*** *** ***

ISO : Une structure double Administrative et Technique :



ANNEXES

A.1 Structure du comité technique ISO / TC 172



A.2. Détail des normes (ou projets de normes) figurant dans le corps du texte

A.2.1. Normes étudiées par le groupe de travail WG1 (Méthodes de mesurage) :

- | |
|---|
| <p>1 : Définitions et relations fondamentales;
 2 : Techniques de mesurage et d'évaluation;
 3 : Calibrage et validation des matériels interférométriques et des mesurages;
 4 : Application à l'évaluation des tolérances spécifiées dans ISO 10110 (parties 5 et 14.2)</p> |
|---|

A.2.1. Normes étudiées par le groupe de travail WG2 (Indications sur les dessins) :

- | |
|--|
| <p>1 : Généralités;
 2 : Imperfections des matériaux Biréfringence sous contrainte;
 3 : Imperfections des matériaux Bulles et inclusions;
 4 : Imperfections des matériaux Hétérogénéité et stries;
 5 : Tolérances de forme de surface;
 6 : Tolérances de centrage;
 7 : Tolérances d'imperfection de surface;
 8 : État de surface;
 9 : Traitement de surface et revêtement;
 10 : Tableau représentant les données d'une lentille;
 11 : Données non tolérancées;
 12 : Surfaces asphériques;</p> |
|--|

Projets en cours :

- | |
|---|
| <p>14.2 : Tolérances de forme de surfaces d'onde (Fusion des anciennes parties 14 et 15);
 16 : Surfaces asphéro-diffractives;
 17 : Seuil de dommage au rayonnement laser;</p> |
|---|