

---

---

**Lasers et équipements associés aux  
lasers — Méthodes d'essai du seuil  
d'endommagement provoqué par laser —**

**Partie 2:  
Détermination du seuil**

**iTeh STANDARD PREVIEW**  
*Lasers and laser-related equipment — Test methods for laser-induced  
damage threshold —  
(standards.iteh.ai)  
Part 2: Threshold determination*

ISO 21254-2:2011

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/294bfe92-5a16-4042-89e1-689919d4c74a/iso-21254-2-2011>



## iTeh STANDARD PREVIEW (standards.iteh.ai)

ISO 21254-2:2011

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/294bfe92-5a16-4042-89e1-689919d4c74a/iso-21254-2-2011>



### DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2011

Droits de reproduction réservés. Sauf prescription différente, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'ISO à l'adresse ci-après ou du comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office  
Case postale 56 • CH-1211 Geneva 20  
Tel. + 41 22 749 01 11  
Fax + 41 22 749 09 47  
E-mail [copyright@iso.org](mailto:copyright@iso.org)  
Web [www.iso.org](http://www.iso.org)

Publié en Suisse

## Sommaire

Page

Avant-propos .....	iv
Introduction.....	v
1 <b>Domaine d'application</b> .....	1
2 <b>Références normatives</b> .....	1
3 <b>Termes et définitions</b> .....	1
4 <b>Méthodes d'essai</b> .....	1
4.1 <b>Généralités</b> .....	1
4.2 <b>Méthode d'essai 1 sur 1</b> .....	2
4.3 <b>Méthode d'essai S sur 1</b> .....	3
5 <b>Exactitude</b> .....	8
6 <b>Rapport d'essai</b> .....	9
6.1 <b>Généralités</b> .....	9
6.2 <b>Essai 1 sur 1</b> .....	9
6.3 <b>Essai S sur 1</b> .....	9
Annexe A (informative) <b>Exemple de mode opératoire de mesure (essai 1 sur 1)</b> .....	10
Annexe B (informative) <b>Exemple de rapport d'essai d'un essai 1 sur 1</b> .....	16
Annexe C (informative) <b>Exemple de mode opératoire de mesure (essai S sur 1)</b> .....	21
Annexe D (informative) <b>Exemple de rapport d'essai d'un essai S sur 1</b> .....	25
Annexe E (informative) <b>Méthode d'extrapolation pour les essais S sur 1</b> .....	31
Annexe F (informative) <b>Conversion des données d'endommagement en densité de défaut</b> .....	33
Bibliographie.....	36

## Avant-propos

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO). L'élaboration des Normes internationales est en général confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique créé à cet effet. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO participent également aux travaux. L'ISO collabore étroitement avec la Commission électrotechnique internationale (CEI) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les Normes internationales sont rédigées conformément aux règles données dans les Directives ISO/CEI, Partie 2.

La tâche principale des comités techniques est d'élaborer les Normes internationales. Les projets de Normes internationales adoptés par les comités techniques sont soumis aux comités membres pour vote. Leur publication comme Normes internationales requiert l'approbation de 75 % au moins des comités membres votants.

L'attention est appelée sur le fait que certains des éléments du présent document peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. L'ISO ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et averti de leur existence.

L'ISO 21254-2 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 172, *Optique et photonique*, sous-comité SC 9, *Systèmes électro-optiques*.

Cette première édition de l'ISO 21254-2:2011, conjointement à l'ISO 21254-1:2011, annule et remplace l'ISO 11254-1:2000 et l'ISO 11254-2:2001, qui ont fait l'objet d'une révision technique.

L'ISO 21254 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général *Lasers et équipements associés aux lasers* — *Méthodes d'essai du seuil d'endommagement provoqué par laser*.

- *Partie 1: Définitions et principes de base*
- *Partie 2: Détermination du seuil*
- *Partie 3: Possibilités de traitement par puissance (énergie) laser*
- *Partie 4: Inspection, détection et mesurages* [Rapport technique]

## Introduction

La présente partie de l'ISO 21254 spécifie des méthodes d'essai permettant de déterminer le seuil d'endommagement provoqué sur des composants optiques, traités et non traités, par un rayonnement laser simple ou répétitif. Le but recherché est de mettre au point des méthodes permettant d'obtenir des résultats de mesure cohérents, comparables rapidement et avec exactitude, avec ceux d'autres laboratoires d'essai.

Dans l'essai d'irradiation simple, qui est assimilé à l'expression essai 1 sur 1 dans la présente Norme internationale, chaque site non exposé de la surface de l'échantillon est soumis à une seule impulsion du rayonnement laser. Un rayonnement laser répétitif peut détériorer et endommager des composants optiques à des niveaux d'irradiation inférieurs à ceux mesurés pour des endommagements de simple exposition. En plus des mécanismes réversibles induits par l'échauffement et la distorsion, des mécanismes d'endommagement irréversibles dus au vieillissement, aux microdommages et à l'apparition ou au déplacement de défauts sont observés. La dégradation de la qualité optique dépend des paramètres de fonctionnement du laser et du système optique dans lequel est installé le composant. L'essai d'irradiations multiples (essai S sur 1) est fondé sur un protocole qui utilise une série d'impulsions ayant une densité d'énergie constante sur chaque site d'essai non exposé.

Outre une technique d'évaluation fondée sur la courbe de résistance pour les essais 1 sur 1, la présente partie de l'ISO 21254 décrit aussi deux méthodes d'évaluation permettant de réduire les données brutes des essais d'endommagement S sur 1: la méthode de la courbe d'endommagement caractéristique et la méthode d'extrapolation.

La méthode de la courbe d'endommagement caractéristique est fondée sur un grand nombre de sites d'essai S sur 1 sur la surface optique de l'échantillon et comprend un jeu de trois graphiques indiquant les valeurs de densité d'énergie avec des valeurs de probabilité d'endommagement de 10 %, 50 % et 90 % pour un nombre donné d'impulsions. La courbe d'endommagement caractéristique représente les résultats d'un essai complet ou étendu d'endommagement provoqué par laser, et elle est recommandée pour les recherches de base dans des optiques lasers en cours de développement ou critiques. La seconde méthode technique d'évaluation pour les essais S sur 1, à savoir la méthode d'extrapolation, est conçue pour un nombre considérablement plus petit de sites d'essai. Cette méthode permet d'obtenir un diagramme de distribution des zones endommagées et non endommagées pour le comportement du seuil d'endommagement en fonction du nombre d'impulsions par site. Ce diagramme a une fiabilité limitée et peut être utilisé pour un contrôle qualité de composants optiques pour laser, qui sont déjà qualifiés par un essai complet d'endommagement ou pour la préparation d'un essai d'endommagement étendu.

Des essais réalistes d'endommagement provoqué par laser adaptés aux applications industrielles dépendent d'un grand nombre d'impulsions ( $10^9$  à  $10^{11}$  impulsions) et engendrent des coûts expérimentaux disproportionnés. En conséquence, la présente partie de l'ISO 21254 décrit aussi une méthode permettant d'extrapoler le seuil S sur 1 à partir de la courbe d'endommagement caractéristique afin d'estimer la durée de vie réelle d'un composant optique.

**NOTE** Il convient de prendre conscience que le seuil d'endommagement provoqué par laser d'un composant optique soumis à un rayonnement répétitif peut être affecté par un ensemble de différents mécanismes de dégradation tels que la contamination, l'échauffement, l'apparition ou le déplacement de défauts internes et les modifications de structure. Ces mécanismes sont influencés par les paramètres de fonctionnement du laser, l'environnement et les conditions de montage du composant soumis à essai. Pour ces raisons, il est nécessaire d'enregistrer tous les paramètres et de prendre conscience que le comportement d'endommagement peut varier dans les essais réalisés dans des conditions de fonctionnement différentes.

Les modes opératoires d'essai décrits dans la présente partie de l'ISO 21254 s'appliquent à toutes les combinaisons de différentes longueurs d'onde et durées d'impulsion de laser. Toutefois, la comparaison des données de seuil d'endommagement provoqué par laser peut être trompeuse, sauf si les mesurages ont été effectués à des longueurs d'onde, durées d'impulsion et diamètres de faisceau identiques. Les définitions et le principe général des mesurages du seuil d'endommagement provoqué par laser sont décrits dans l'ISO 21254-1.

**iTeh STANDARD PREVIEW**  
**(standards.iteh.ai)**

ISO 21254-2:2011

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/294bfe92-5a16-4042-89e1-689919d4c74a/iso-21254-2-2011>

# Lasers et équipements associés aux lasers — Méthodes d'essai du seuil d'endommagement provoqué par laser —

## Partie 2: Détermination du seuil

**AVERTISSEMENT** — L'extrapolation des données d'endommagement peut conduire à des résultats de calcul erronés et à une surestimation du seuil d'endommagement. Dans le cas de matériaux toxiques (par exemple ZnSe, GaAs, CdTe, ThF<sub>4</sub>, chalcogénures, Be, Cr, Ni), cela peut engendrer de sérieux risques pour la santé. Voir l'ISO 21254-1:2011, Annexe A, pour des commentaires supplémentaires.

### 1 Domaine d'application

La présente partie de l'ISO 21254 définit la détermination du seuil d'endommagement 1 sur 1 et S sur 1 provoqué par un rayonnement laser sur des composants optiques pour laser. Elle s'applique à tous les types de lasers et de conditions de fonctionnement.

(standards.iteh.ai)

### 2 Références normatives

[ISO 21254-2:2011](#)

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

ISO 11145, *Optique et photonique — Lasers et équipements associés aux lasers — Vocabulaire et symboles*

ISO 21254-1:2011, *Lasers et équipements associés aux lasers — Méthodes d'essai du seuil d'endommagement provoqué par laser — Partie 1: Définitions et principes de base*

### 3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans l'ISO 11145 et l'ISO 21254-1 s'appliquent.

### 4 Méthodes d'essai

#### 4.1 Généralités

L'appareillage, le principe général et l'échantillonnage pour les mesurages du seuil d'endommagement provoqué par laser sont décrits dans l'ISO 21254-1.

## 4.2 Méthode d'essai 1 sur 1

### 4.2.1 Généralités

Lors d'un essai 1 sur 1, chaque site non exposé de la surface de l'échantillon est examiné au moyen d'une seule impulsion laser ayant des paramètres de faisceau définis. Les données expérimentales permettent de construire un graphique représentant la probabilité d'endommagement en fonction de la densité d'énergie ou de la densité de puissance.

### 4.2.2 Paramètres

L'équipement d'essai doit être caractérisé par les paramètres décrits dans l'ISO 21254-1:2011, 6.2.6.5.

### 4.2.3 Mode opératoire

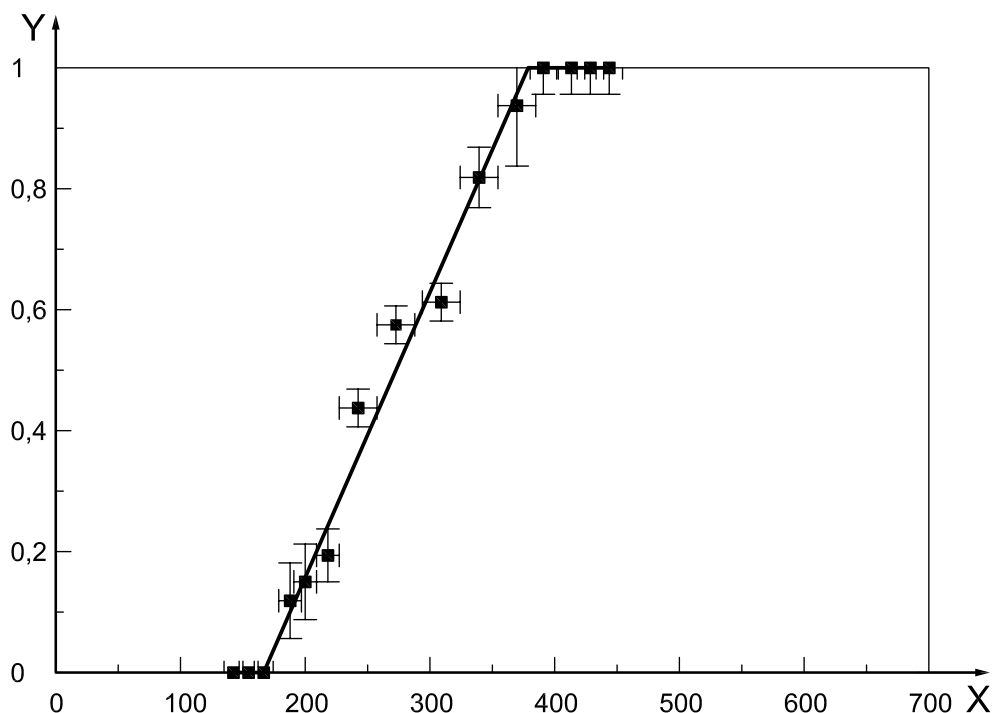
Les sites d'essai sont positionnés dans le faisceau et exposés à des irradiations simples d'un rayonnement laser ayant différentes densités d'énergie ou densités de puissance. Exposer au moins dix sites à une énergie d'impulsion (ou puissance de faisceau) présélectionnée et enregistrer l'énergie d'impulsion (ou puissance de faisceau) réelle mesurée par l'unité de diagnostic de faisceau ainsi que l'état d'endommagement après l'irradiation (présence ou absence de dommage) pour chaque site. Répéter cette séquence pour d'autres énergies d'impulsion ou puissances de faisceau. La plage des énergies d'impulsion ou puissances de faisceau employées doit être suffisamment étendue pour inclure de faibles valeurs n'induisant pas d'endommagement au niveau des sites et des valeurs suffisamment élevées pour induire des dommages sur chaque site soumis à essai au cours de la séquence d'essai.

### 4.2.4 Évaluation

Les données de seuil d'endommagement sont obtenues par la méthode de probabilité d'endommagement. Pour établir une courbe de probabilité d'endommagement en fonction de l'unité correspondante de seuil d'endommagement provoqué par laser (faisceau laser ou énergie), la probabilité d'endommagement est déterminée pour chaque incrément de densité d'énergie ou de densité de puissance en calculant le rapport du nombre de sites endommagés au nombre total de sites soumis à essai. L'extrapolation linéaire des données de probabilité d'endommagement à une probabilité d'endommagement nul donne la valeur du seuil. Un exemple est donné à la Figure 1.

iTeh STANDARD PREVIEW  
(standards.iteh.ai)



**Key**

X énergie, en millijoules  
 Y probabilité d'endommagement

NOTE Les conditions expérimentales utilisées sont les suivantes:  $d_{86,5} = 1,44$  mm,  $\lambda = 10,6$   $\mu$ m,  $\tau_H = 100$  ns, queue de 3,5  $\mu$ s (TEA CO<sub>2</sub> laser), échantillons: fenêtres en KBr, 50 pièces,  $\varnothing$  40 mm.

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/294bfe92-5a16-4042-89e1-689919d4c74a/iso-21254-2-2011>

**Figure 1 — Graphique de la détermination du seuil d'endommagement à partir des données expérimentales**

Dans le cas d'un système laser présentant une importante variation d'énergie coup par coup, il est permis d'exposer l'échantillon à des énergies d'impulsion arbitraires et de classer les données en fonction des intervalles d'énergie appropriés après l'expérimentation.

NOTE 1 Pour une méthode de mesure efficace ayant une exactitude maximale pour un nombre donné de sites, des exemples appropriés sont respectivement décrits dans l'Annexe A et dans l'Annexe C pour un essai 1 sur 1 et un essai S sur 1.

NOTE 2 Le diamètre du faisceau d'essai au niveau de la position de l'échantillon peut avoir une incidence sur le résultat de mesure. Par conséquent, le diamètre du faisceau doit être maintenu constant pendant tout le mode opératoire de mesure.

### 4.3 Méthode d'essai S sur 1

#### 4.3.1 Généralités

Pour déterminer le seuil d'endommagement S sur 1, des extensions de la mise en œuvre et du mode opératoire d'évaluation pour les mesurages du seuil d'endommagement 1 sur 1 sont nécessaires. Cependant, une installation de mesure pour les essais S sur 1 peut être appliquée pour les mesurages 1 sur 1 si le système de détection des dommages en ligne est combiné à un microscope à contraste interférentiel différentiel du type Nomarski. Il est recommandé que le système de détection des dommages en ligne ait la possibilité d'interrompre les impulsions suivantes et de stopper le compteur d'impulsions.

### 4.3.2 Paramètres de l'essai

L'équipement d'essai doit être caractérisé par les paramètres décrits dans l'ISO 21254-1:2011, 6.2.6.5, et les paramètres suivants:

- a) nombre d'impulsions par site,  $S$ ;
- b) nombre total de sites par essai,  $N_{ts}$ .

NOTE Pour l'essai S sur 1, les paramètres donnés dans l'ISO 21254-1:2011, 6.2.6.5 d) à g), se rapportent aux propriétés de l'impulsion typique définie dans l'ISO 21254-1:2011, 6.2.6.4.

### 4.3.3 Mode opératoire

Un site d'essai non exposé est positionné dans le faisceau et irradié par une série de  $S$  impulsions, l'impulsion typique de la série ayant une énergie  $Q_{tp}$ . Si un endommagement est observé par le système de détection des dommages en ligne avant que la série de  $S$  impulsions ne soit achevée, l'irradiation du site doit être arrêtée et le nombre minimal d'impulsions,  $N_{min}$ , doit être enregistré. Ce mode opératoire est répété pour différentes densités d'énergie de l'impulsion typique. Le nombre d'impulsions,  $S$ , doit être constant pendant tout le mode opératoire d'essai et il doit être choisi de façon que le comportement spécifique de l'échantillon à l'endommagement provoqué par laser soit enregistré par l'essai S sur 1.

### 4.3.4 Évaluation des mesurages

#### 4.3.4.1 Généralités

Après la vérification, le résultat du programme d'essai S sur 1 décrit est un fichier de points mesurés du type

$(Q_{tp}, N_{min})$ , où  $N_{min} \leq S$  en cas d'endommagement,

$(Q_{tp}, S)$  lorsqu'aucun endommagement n'est détectable.

L'évaluation des données obtenues (voir Figure 2) peut être effectuée en utilisant la méthode de la courbe d'endommagement caractéristique (voir 4.3.4.2) ou la méthode d'extrapolation (voir 4.3.4.3). La méthode de la courbe d'endommagement caractéristique permet une détermination exacte du seuil d'endommagement provoqué par laser à impulsions. Outre cette technique précise qu'il convient d'utiliser pour des investigations fondamentales et pour tester des composants prototypes, la méthode d'extrapolation est une technique pratique pour estimer le seuil S sur 1 pour un grand nombre d'impulsions.

#### 4.3.4.2 Courbe d'endommagement caractéristique

Le mode opératoire relatif au seuil d'endommagement S sur 1 (voir 4.3.3) est appliqué et le fichier de points mesurés obtenu est enregistré. Pour une évaluation ayant une signification suffisante, un nombre minimal de sites,  $N_{ms}$ , doit être soumis à essai pour chaque valeur d'énergie,  $Q_{tp}$ , de l'impulsion typique. Ce nombre minimal de sites,  $N_{ms}$ , peut être estimé par la relation donnée par l'Équation (1):

$$N_{ms} = 5 \times \text{valeur de l'intégrale de } (1 + \log_{10} S) \quad (1)$$

La plage d'énergies d'impulsion typiques,  $Q_{tp}$ , utilisée doit être suffisamment étendue pour inclure aussi bien les points de probabilité d'endommagement nulle que ceux de probabilité de 100 %.

Les valeurs de probabilité d'endommagement pour un nombre défini  $N$  d'impulsions et une valeur d'énergie spécifiée,  $Q$ , sont calculées sur la base de la technique de réduction des données suivante.

L'échelle d'énergie est divisée en une série d'intervalles  $[Q - \Delta Q, Q + \Delta Q]$  couvrant la plage d'énergie accessible par le montage expérimental. Pour le calcul de la probabilité d'endommagement pour une certaine valeur d'énergie,  $Q$ , et pour un nombre choisi d'impulsions,  $N$ , les points mesurés avec  $Q_{tp} = [Q - \Delta Q, Q + \Delta Q]$  sont choisis dans le fichier des points mesurés. Les points mesurés avec  $N_{min} \leq N$  correspondent aux sites endommagés, alors que les points mesurés avec  $N_{min} > N$  ou  $S \geq N$  correspondent aux sites non endommagés dans l'intervalle d'énergie considéré. La probabilité d'endommagement pour l'énergie  $Q$  est

calculée par le rapport entre le nombre de points mesurés correspondant aux sites endommagés et le nombre total de points mesurés considérés pour l'évaluation.

NOTE 1 La valeur de  $\Delta Q$  est choisie de telle sorte qu'une fraction significative des points mesurés est disponible pour un intervalle distinct [ $Q - \Delta Q$ ,  $Q + \Delta Q$ ]. La valeur  $\Delta Q$  est maintenue constante pendant le mode opératoire d'évaluation, et elle détermine l'erreur statistique des valeurs de seuil. Un exemple de mode opératoire de mesure efficace et de choix de paramètres adaptés est donné dans l'Annexe C.

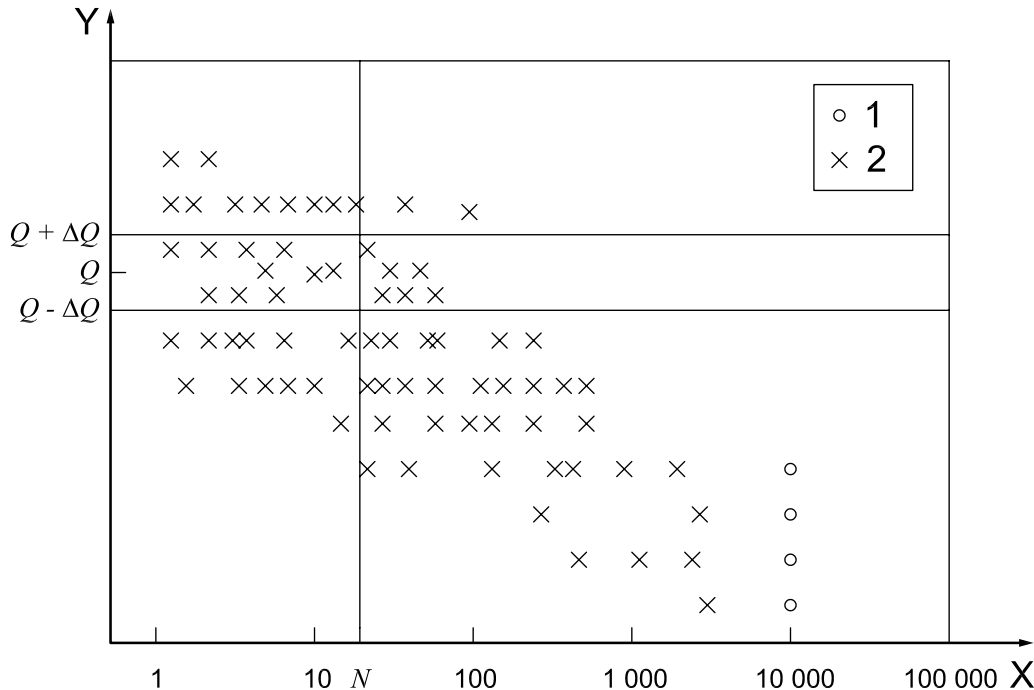
Ce mode opératoire est répété pour d'autres valeurs d'énergie,  $Q$ , afin de générer un ensemble de valeurs de probabilité d'endommagement pour le nombre choisi d'impulsions,  $N$ . L'ensemble de données obtenu représente des points discrets de la courbe de probabilité d'endommagement qui est tracée en fonction de l'énergie de l'impulsion typique. À partir de cette courbe, les valeurs d'énergie  $Q_{10}$ ,  $Q_{50}$  et  $Q_{90}$  sont déduites par extrapolation pour les valeurs de probabilité d'endommagement correspondantes de 10 %, 50 % et 90 %.

Une extrapolation linéaire de la courbe de probabilité d'endommagement à une probabilité d'endommagement nul donne l'énergie de seuil (voir 4.2.4) qui doit être convertie en unités de densité d'énergie de seuil,  $H_{th}$ , ou de densité de puissance de seuil,  $E_{th}$ .

Une extrapolation linéaire appliquée aux deux points mesurés proches de la probabilité d'endommagement ciblée est suffisante. Si une base expérimentale avec un grand nombre de points mesurés est disponible, des méthodes d'extrapolation plus sophistiquées sont autorisées. Le mode opératoire d'extrapolation doit être décrit dans le rapport d'essai.

À la Figure 2, les points mesurés correspondant aux sites endommagés sont représentés par une croix  $\times$  et les sites non endommagés sont représentés par un rond (o). Le mode opératoire d'évaluation pour la méthode de probabilité d'endommagement est illustré par l'intervalle [ $Q - \Delta Q$ ,  $Q + \Delta Q$ ] indiqué sur le graphique. Plus d'un point peut être retenu pour une paire de données spécifiques ( $Q_{tp}$ ,  $S$ ) ou ( $Q_{tp}$ ,  $N_{min}$ ) pendant l'expérimentation. Le nombre de points pour une paire de données spécifiques peut être indiqué sur le graphique.

La Figure 2 montre une illustration pour un ensemble de données typique d'un essai S sur 1. En conséquence, l'échelle d'énergie d'impulsion est donnée dans des quantités arbitraires et aucun nombre n'est fourni sur l'apparition de points de données identiques.



**Légende**

- X nombre d'impulsions
- Y énergie d'impulsion, en millijoules
- 1 non endommagé
- 2 endommagé

iTeH STANDARD PREVIEW  
(standards.iteh.ai)

ISO 21254-2:2011

**Figure 2 — Description des données résultant de l'évaluation des essais d'endommagement**

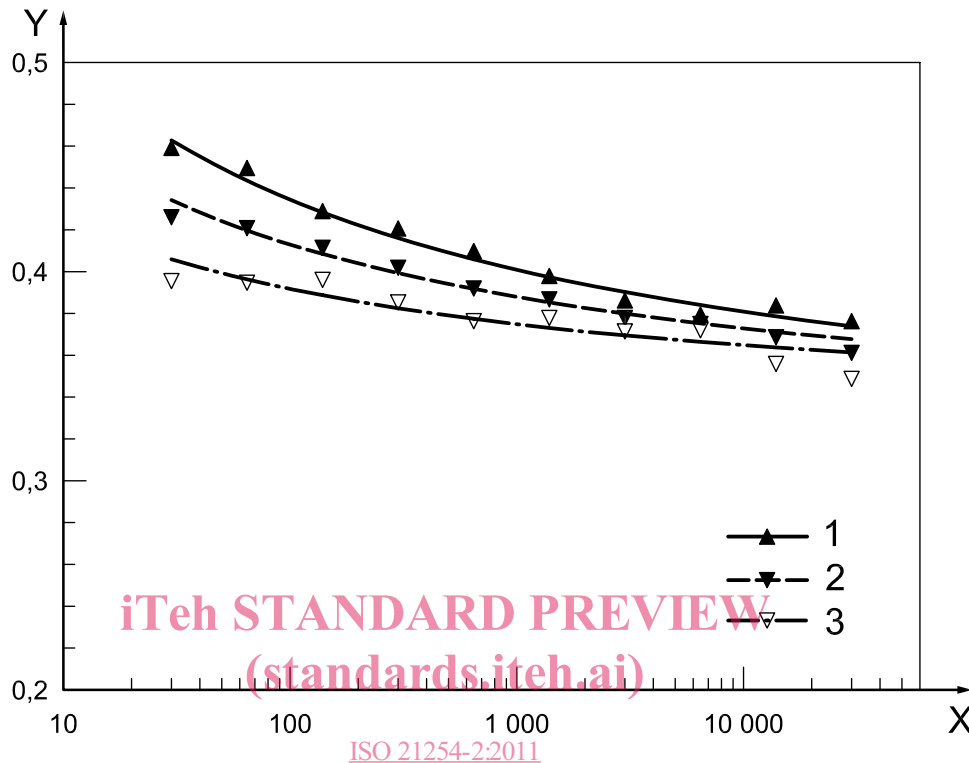
Pour l'établissement de la courbe d'endommagement caractéristique, l'algorithme décrit ci-dessus est répété pour les nombres choisis d'impulsions,  $N$ , afin de déterminer les valeurs d'énergie correspondantes  $Q_{10}$ ,  $Q_{50}$  et  $Q_{90}$ . Ces valeurs sont converties en unités de seuil d'endommagement et tracées en fonction du nombre d'impulsions. Les nombres d'impulsions doivent être choisis de façon qu'au moins cinq points mesurés soient situés dans la zone significative de la courbe d'endommagement caractéristique. Des coordonnées log-log sont recommandées pour la représentation afin de permettre une extrapolation linéaire de la courbe d'endommagement caractéristique pour les grands nombres d'impulsions (voir Figure 3).

NOTE 2 Les coordonnées log-log peuvent ne pas être appropriées pour une extrapolation de la courbe d'endommagement caractéristique pour des nombres d'impulsions extrêmement élevés. Dans de nombreux cas, la courbe d'endommagement caractéristique converge vers une densité d'énergie finie et la forme de cette convergence peut contenir des informations sur les mécanismes de vieillissement provoqués par laser (voir Annexe E).

**4.3.4.3 Méthode d'extrapolation**

Un diagramme de distribution des zones endommagées et non endommagées peut être réalisé sur la base d'un essai avec un nombre réduit de points mesurés. Pour cette méthode, les modes opératoires d'essai S sur 1 sont appliqués, en couvrant une plage de nombres d'impulsions par site d'essai adaptée à une extrapolation du seuil d'endommagement S sur 1 pour un grand nombre défini d'impulsions. Un mode opératoire d'essai légèrement modifié (voir 4.3.3) est appliqué pour un ensemble choisi de points mesurés. Pour la méthode d'extrapolation, le nombre d'impulsions,  $S$ , varie au cours de l'essai et il doit être choisi de telle sorte qu'un nombre significatif de sites soient irradiés par un nombre choisi d'impulsions,  $S$ . L'irradiation d'un site d'essai individuel est arrêtée lorsque le nombre d'impulsions défini a été atteint ou qu'un endommagement a été détecté. Le résultat de ce protocole d'irradiation est un ensemble de points mesurés ( $Q_{tp}$ ,  $S$ , état d'endommagement) représenté respectivement par l'énergie de l'impulsion typique, le nombre d'impulsions choisi et l'état d'endommagement. Pour les échantillons qui montrent des mécanismes

d'endommagement par auto-extinction, la méthode d'extrapolation peut aussi être appliquée pour les équipements d'essai d'endommagement sans système de détection d'endommagement en ligne. Dans ce cas, chaque site est soumis au nombre d'impulsions choisi, indépendamment de l'état d'endommagement.



#### Légende

X nombre d'impulsions  
Y densité d'énergie, en joules par centimètre carré

- 1 seuil d'endommagement provoqué par laser de 90 %
- 2 seuil d'endommagement provoqué par laser de 50 %
- 3 seuil d'endommagement provoqué par laser de 10 %

NOTE Les données expérimentales utilisées sont les suivantes:  $\tau_{\text{eff}} = 130 \text{ fs}$ ,  $d_{T,\text{eff}} = 87 \text{ }\mu\text{m}$ ,  $\lambda = 780 \text{ nm}$ ,  $f_p = 1 \text{ kHz}$ , échantillon: miroir HR ( $\text{Ta}_2\text{O}_5/\text{SiO}_2$ ) pour 780 nm.

**Figure 3 — Courbe d'endommagement caractéristique**

Pour chaque point mesuré, la valeur de l'énergie,  $Q_{tp}$ , est convertie en unités de densité d'énergie ou de densité de puissance et tracée sur un graphique représentant cette valeur en fonction du nombre d'impulsions. En séparant les points mesurés suivant l'état d'endommagement, des zones d'endommagement et de non-endommagement sont marquées sur le graphique. Le graphique de distribution obtenu (voir Figure 4) permet une estimation approximative du seuil de densité d'énergie pour un grand nombre d'impulsions.

NOTE Comparée à la méthode de la courbe d'endommagement caractéristique, la méthode d'extrapolation est fondée sur un nombre considérablement plus petit de modes opératoires d'essai S sur 1, et elle peut être appliquée sur un seul échantillon. La fiabilité limitée de la méthode d'extrapolation peut être suffisante pour le contrôle qualité d'un procédé de fabrication déjà certifié par un essai complet de probabilité d'endommagement, ou pour la préparation d'essais d'endommagement étendus. Le graphique de distribution obtenu par la méthode d'extrapolation peut être interprété comme une estimation grossière de la courbe d'endommagement caractéristique (voir Figure 4), et il peut aussi être déduit du fichier de données de la courbe d'endommagement caractéristique.