

Définition

La DNRO est la distance nominale de risque oculaire au-delà de laquelle la valeur limite d'exposition est respectée, c'est-à-dire que le rayonnement optique artificiel ne représente plus un danger pour l'œil.

Cette distance, qui s'exprime en mètres, correspond donc à une distance de danger du laser et son calcul peut s'avérer nécessaire pour l'évaluation des risques professionnels.

Ainsi, le calcul de cette distance dépend :

- des caractéristiques d'émission du laser (puissance de sortie, diamètre, divergence de faisceau émis),
- des valeurs limites d'exposition (VLE) au niveau de la cornée (fonction des caractéristiques spectrales et temporelles du faisceau laser),
- du dispositif optique mis en œuvre pour conduire le faisceau.

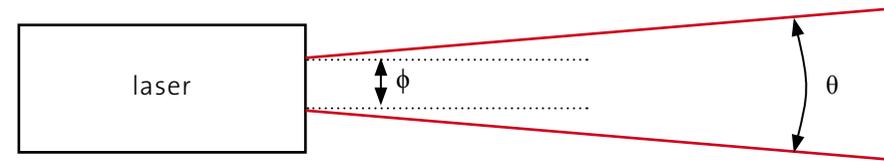
Pour les lasers de classe 3B et 4, cette distance peut s'avérer être considérable. Il est alors nécessaire de stopper le faisceau dans son périmètre d'utilisation.

Dans cette fiche, on se propose de présenter le calcul de la DNRO pour 3 des situations les plus fréquemment rencontrées.

Cas d'un faisceau se propageant en champ libre

On considère un faisceau laser, très faiblement divergent, se propageant en champ libre (c'est-à-dire, sans rencontrer aucun obstacle ou composant optique modifiant ses propriétés géométriques et physiques) depuis la sortie du système laser. Si on pose que, à la sortie dudit système laser, le faisceau a les propriétés suivantes (voir schéma ci-contre) :

- Diamètre : ϕ (en m)
- Divergence : θ (en radians)
- Puissance ou Emission : E (en W ou en J)
- VLE : Valeur Limite d'Exposition (en $W \cdot m^{-2}$ ou en $J \cdot m^{-2}$)



Dans ce cas, la DNRO peut s'exprimer au travers de la relation suivante :

$$DNRO = \frac{1}{\theta} \left[\sqrt{\frac{4 \times E}{\pi \times VLE}} - \phi \right]$$

Exemples

Cas d'un laser Nd:YAG doublé impulsionnel et d'un laser continu avec les caractéristiques suivantes :

Type de laser	Nd:YAG impulsionnel	Laser continu
Longueur d'onde (en m)	532×10^{-9}	514×10^{-9}
Diamètre (en m)	6×10^{-3}	1×10^{-3}
Divergence (radians)	0.001	0.0005
Puissance/énergie	0.4 Joule	2 Watts
Durée des impulsions (en s)	5×10^{-9}	-
Fréquence des tirs (en s^{-1})	10	-

Dans le cas du laser impulsionnel, la VLE est de $5 \cdot 10^{-3} J \cdot m^{-2}$, ce qui conduit à une DNRO de l'ordre de **10 km**.

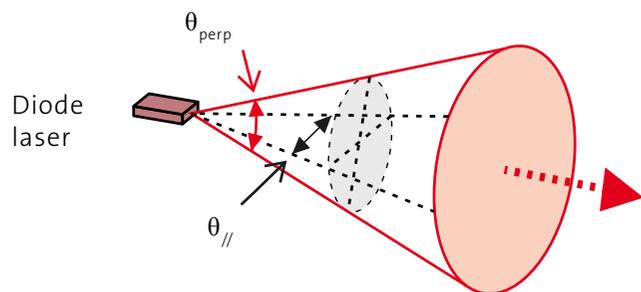
Pour le laser continu, on prend en compte une exposition de 0,25 s, correspondant au temps du réflexe palpébral. La VLE est alors donnée par la relation :

$$VLE = 18 \times t^{0.75} J \cdot m^{-2}$$

On en déduit une DNRO de l'ordre de **612 m**. Il est clair que cette distance croît avec le temps d'exposition.

Cas d'une diode laser continue de puissance P

On considère un faisceau directement à la sortie d'une diode laser. Ce faisceau est elliptique et est caractérisé par 2 angles de divergence $\theta_{//}$ et θ_{perp} . Si le faisceau a une puissance P (en W) et que l'on considère une durée t d'exposition de la cornée, la DNRO s'exprime alors sous la forme suivante :



La DNRO pour la propagation du faisceau en champ libre se détermine au travers de la relation suivante :

$$\text{DNRO} = \left[\sqrt{\frac{P \times t}{\pi \times \text{VLE} \times \left(\tan\left(\frac{\theta_{//}}{2}\right) \times \tan\left(\frac{\theta_{\text{perp}}}{2}\right) \right)}} \right]$$

Exemple

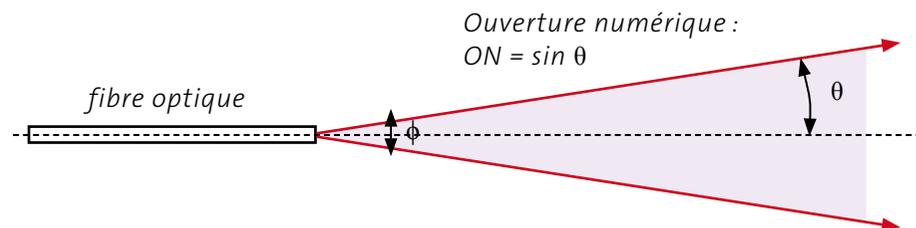
Cas d'une diode laser continue émettant un faisceau, à 808 nm, de puissance 100 mW. Les angles de divergences $\theta_{//}$ et θ_{perp} sont respectivement de 14° et 8°.

Comme dans l'exemple précédent, on considère un temps d'exposition de la cornée de 0,25 s pour le calcul de la VLE. Ce qui donne :

$$\text{DNRO} = 0,38 \text{ m}$$

Cas d'une fibre optique

La divergence d'un faisceau en sortie de fibre optique est le plus souvent présentée sous le nom d'ouverture numérique (ON). Cette ON dépend principalement des indices de réfraction du cœur et de la gaine de cette fibre. Il s'agit d'une valeur adimensionnelle qui est égale au sinus du demi-angle de divergence.



Dans le cas présent, la DNRO s'exprime sous la forme suivante :

$$\text{DNRO} = \frac{1}{\tan(\sin^{-1} \text{ON})} \sqrt{\frac{P \times t}{\pi \times \text{VLE}}}$$

Exemple

Cas d'une fibre optique, d'ouverture numérique ON = 0,13, véhiculant un faisceau laser, de puissance 0,2 W, à 1550 nm.

Pour ce domaine de longueur d'onde, la VLE est de 104 J.m⁻².

Si on considère, cette fois-ci un temps d'exposition de la cornée de 1 s, le calcul de la DNRO donne :

$$\text{DNRO} = 20 \text{ cm}$$