

Cette fiche décrit le calcul des échelons de lunettes selon la norme NF EN 207 pour les lunettes de protection laser. Elle reprend le tableau de sélection de la norme et un logigramme méthodologique.

Mode temporel

Suivant le mode temporel de la source, plusieurs cas sont à prendre en compte :

- laser continu : **cas n°1**, calcul de l'échelon D,
- laser impulsionnel, impulsion longue : **cas n°2**, calcul de l'échelon D uniquement,
- laser impulsionnel de la μs à la ns : **cas n°3**, calcul de l'échelon D, puis de l'échelon « I, R »,
- laser impulsionnel < ns : **cas n°4**, calcul de l'échelon D, puis de l'échelon M.

Diamètre de faisceau

Le tableau B.1 est utilisé directement pour un diamètre de faisceau de 1 mm. Pour des diamètres différents, il est nécessaire de multiplier le flux de la source considérée par un coefficient correctif F pour une comparaison directe avec le tableau B.1 :

- $F = d^{1,1693}$ pour des filtres en verre,
 - $F = d^{1,2233}$ pour des filtres en plastique,
- avec d, le diamètre du faisceau en millimètre (mm).

On utilise ensuite d pour calculer la surface de faisceau à prendre en compte, notée A, en mm^2 :

$$A = d^2 \times \pi/4$$

Expression du flux lumineux

Dans le cas d'un laser continu, on calcule l'éclairement énergétique, noté E :

$$E = P/A, \text{ en } W/m^2$$

avec P, la puissance de la source en Watt.

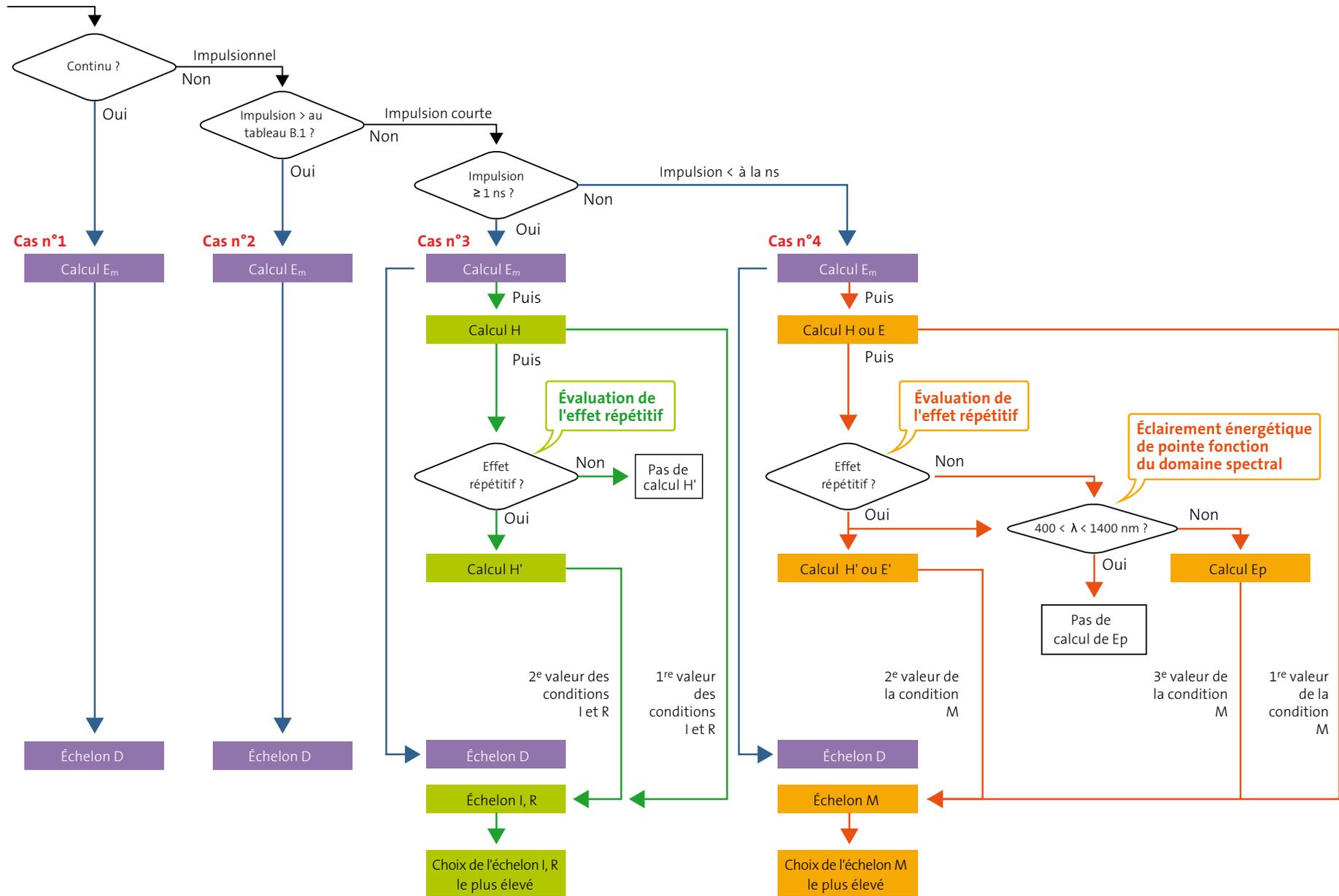
Dans le cas d'un laser impulsionnel, on calcule l'exposition énergétique, notée H :

$$H = Q/A, \text{ en } J/m^2$$

avec Q, l'énergie de la source en Joule.

Numéro d'échelon	Transmission spectrale maximale à la longueur d'onde laser $\tau(\gamma)$	Éclairement (E) et exposition (H) énergétiques maximaux dans le domaine spectral								
		180 nm à 315 nm			> 315 nm à 1 400 nm			> 1 400 nm à 1 000 μm		
		Type de laser/durée d'exposition en secondes (s)								
	D $\geq 3 \times 10^4$	I, R 10^9 à 3×10^4	M $< 10^9$	D $\geq 5 \times 10^4$	I, R 10^9 à 5×10^4	M $< 10^9$	D $> 0,1$	I, R 10^9 à $0,1$	M $< 10^9$	
	E_D W/m ²	$H_{I,R}$ J/m ²	E_M W/m ²	E_D W/m ²	$H_{I,R}$ J/m ²	E_M W/m ²	E_D W/m ²	$H_{I,R}$ J/m ²	E_M W/m ²	
LB1	10^{-1}	0,01	3×10^2	3×10^{11}	10^2	0,05	$1,5 \times 10^{-3}$	10^4	10^3	10^{12}
LB2	10^{-2}	0,1	3×10^3	3×10^{12}	10^3	0,5	$1,5 \times 10^{-2}$	10^5	10^4	10^{13}
LB3	10^{-3}	1	3×10^4	3×10^{13}	10^4	5	0,15	10^6	10^5	10^{14}
LB4	10^{-4}	10	3×10^5	3×10^{14}	10^5	50	1,5	10^7	10^6	10^{15}
LB5	10^{-5}	10^2	3×10^6	3×10^{15}	10^6	5×10^2	15	10^8	10^7	10^{16}
LB6	10^{-6}	10^3	3×10^7	3×10^{16}	10^7	5×10^3	$1,5 \times 10^2$	10^9	10^8	10^{17}
LB7	10^{-7}	10^4	3×10^8	3×10^{17}	10^8	5×10^4	$1,5 \times 10^3$	10^{10}	10^9	10^{18}
LB8	10^{-8}	10^5	3×10^9	3×10^{18}	10^9	5×10^5	$1,5 \times 10^4$	10^{11}	10^{10}	10^{19}
LB9	10^{-9}	10^6	3×10^{10}	3×10^{19}	10^{10}	5×10^6	$1,5 \times 10^5$	10^{12}	10^{11}	10^{20}
LB10	10^{-10}	10^7	3×10^{11}	3×10^{20}	10^{11}	5×10^7	$1,5 \times 10^6$	10^{13}	10^{12}	10^{21}

Tableau B.1 de la norme



Laser continu (Cas n°1)

- a) Calculer l'éclairement énergétique E.
 b) Rechercher dans la colonne D du tableau B.1 la valeur de E immédiatement supérieure. On obtient l'échelon D correspondant.

Laser en impulsion longue (Cas n°2)

- a) Si la durée d'impulsion est supérieure à la durée d'exposition indiquée dans l'en-tête de la colonne D du tableau B.1 (encadrée en rouge), seule la condition D est évaluée, en utilisant l'éclairement énergétique moyen :

$$E_{\text{moyen}} = P_{\text{moyen}}/A$$

$$E_{\text{moyen}} = Q \cdot \nu / A$$

- avec Q : énergie par impulsion
 ν : fréquence de répétition
 A : surface du faisceau

- b) Rechercher dans la colonne D du tableau B.1 la valeur de E_{moyen} (E_m) immédiatement supérieure. On obtient l'échelon D correspondant. Dans ce cas, la lunette ne devra satisfaire qu'à la condition D.

Laser impulsionnel supérieur à la nanoseconde (Cas n°3)

- a) Si la durée d'impulsion est inférieure à la durée d'exposition indiquée dans l'en-tête de la colonne S du tableau B.1, alors l'échelon D est obtenu comme dans le cas d'une impulsion longue, en utilisant l'éclairement énergétique moyen E_m (Voir cas n°2 pour le calcul).

- b) L'évaluation en régime impulsionnel est réalisée en utilisant :

- la colonne I pour les impulsions plus longues que 1 μs
- la colonne R pour les impulsions entre 1 μs et 1 ns

On calcule l'exposition énergétique H :

$$H = Q/A$$

- c) Rechercher dans la colonne « I, R » du tableau la valeur de H immédiatement supérieure. On obtient un premier échelon « I, R ».

- d) L'effet thermique cumulé d'impulsions répétitives (H') doit être évalué si :

- la longueur d'onde est supérieure à 400 nm
- la durée d'impulsion est inférieure à 0,25 s
- ou la fréquence de répétition est supérieure à 1 Hz

L'exposition énergétique H est corrigée par un facteur :

si $T > T_i$ alors $H' = H \times k$

si $T < T_i$ alors $H' = H \times k \times kTi$

avec $k = N^{1/4}$

$N = \nu \times 5$: nombre d'impulsions pendant 5 s

$kTi = \nu \times T_i$: nombre d'impulsions pendant T_i

Les valeurs de T_i sont données par le tableau B.2 de la norme NF EN 207 :

λ (nm)	T_i (s)	ν_{max} (Hz)
$400 \leq \lambda < 1050$	$18 \cdot 10^{-6}$	$55,56 \cdot 10^3$
$1050 \leq \lambda < 1400$	$50 \cdot 10^{-6}$	$20 \cdot 10^3$
$1400 \leq \lambda < 1500$	10^{-6}	10^3
$1500 \leq \lambda < 1800$	10	0,1
$1800 \leq \lambda < 2600$	10^{-3}	10^3
$2600 \leq \lambda$	10^{-7}	10^7

- e) Rechercher dans la colonne « I, R » du tableau B.1 la valeur de H' immédiatement supérieure. On obtient un second échelon I ou R.

Parmi les deux valeurs de l'échelon I ou R qu'il est possible d'obtenir, l'échelon le plus élevé est retenu. La lunette doit également satisfaire à la condition D.

Laser impulsionnel inférieur à la nanoseconde (Cas n°4)

a) Pour les durées d'impulsion inférieure à la ns, l'échelon D est obtenu comme dans le cas d'une impulsion longue, en utilisant l'éclairement énergétique moyen E_m (Voir cas n°2 pour le calcul).

b) L'évaluation en régime impulsionnel est réalisée en utilisant la colonne M. On calcule l'éclairement énergétique E :

$$E = Q \cdot v / A$$

c) Rechercher dans la colonne M du tableau B.1 la valeur de E immédiatement supérieure. On obtient un second échelon M.

d) L'effet thermique cumulé d'impulsions répétitives (E') doit être évalué aux mêmes conditions que précédemment, en utilisant l'éclairement énergétique :

si $T > T_i$ alors $E' = E \times k$

si $T < T_i$ alors $E' = E \times k \times kTi$

d) Si la longueur d'onde est comprise entre 400 nm et 1400 nm, l'exposition de pointe E_p doit également être évaluée :

$$E_{\text{pointe}} = P_{\text{pointe}} / A$$

e) Rechercher dans la colonne M du tableau B.1 la valeur de E_p immédiatement supérieure. On obtient un troisième échelon M.

Parmi les valeurs obtenues de l'échelon M (jusqu'à 3), celui le plus élevé est retenu. La lunette doit également satisfaire à la condition D.

Marquage

Le marquage des lunettes selon la norme NF EN 207 est défini comme suit :

- la longueur d'onde
- une lettre pour le mode temporel : D, I, R ou M
- l'échelon précédé des lettres LB* (ou L avant 2010)
- l'identifiant du fabricant

Une lunette peut être certifiée pour plusieurs plages temporelles ou spectrales. Son marquage est reproduit pour chaque plage.

LONGUEUR D'ONDE

Longueur d'onde ou plage de longueur d'onde en nm.

MODE TEMPOREL

- D : laser continu
- I : impulsions de 0,25 s à 1 μ s
- R : impulsions de 1 μ s à 1 ns
- M : impulsions plus courtes que 1 ns

ÉCHELON

Atténuation en puissance de 10

- LB1 : 10
- LB2 : 100
- LB3 : 1 000
- LB4 : 10 000
- ...

Exemple

- de 840 à 950 nm et de > 1070 à 1090 nm, du continu à la 1 ns (mode D, I et R) : **Échelon 5** (10^5)
- de 840 à 1090 nm et en deçà de 1 ns (mode M) : **Échelon 5** (10^5)
- de 950 à 1070 nm pour du continu : **Échelon 5** (10^5)
- de > 950 à 1070 nm et de 0,25 s à 1 ns (mode I et R) : **Échelon 7** (10^7)
- identifiant du fabricant (NOIR)



Remarque : Le suffixe Y est ajouté lorsque le protecteur de l'œil n'est pas soumis à essai avec des faibles taux de répétition (≤ 25 Hz), par exemple « LB5Y ».

*Pour les lunettes de réglage (norme NF EN 208), les lettres LB sont remplacées par RB (ou R avant 2010)