

Evaluation de la performance d'un illuminateur UV pour la désinfection de micro-organismes

Date : 14 octobre 2020

Référence : R – 3136 – 3 –

V1 Auteur : Olivier Andrieu

1. Introduction

1.1. Contexte et objectif du document

L'objectif de l'étude est de montrer l'efficacité d'un système de désinfection constitué d'un tube profilé équipé d'une barrette de LED UV-C.

L'étude s'appuie sur des mesures réalisées sur un échantillon de tube, sur un échantillon de barrette LED, et sur divers documents et informations disponibles : données techniques barrette LED, rapports de test etc.

Le document présente dans un premier temps le principe de calcul et décrit les modèles analytiques utilisés.

Dans un deuxième temps, le modèle est utilisé pour calculer les performances accessibles et extraire des paramétrages utiles pour des prochains dimensionnements.

1.2. Historique de révision

Date révision	Version	Auteur	Modifications	Vérification
14/10/2020	1	O. Andrieu	Création	M. Verstraete, A. Pons

2. Modèle de calcul

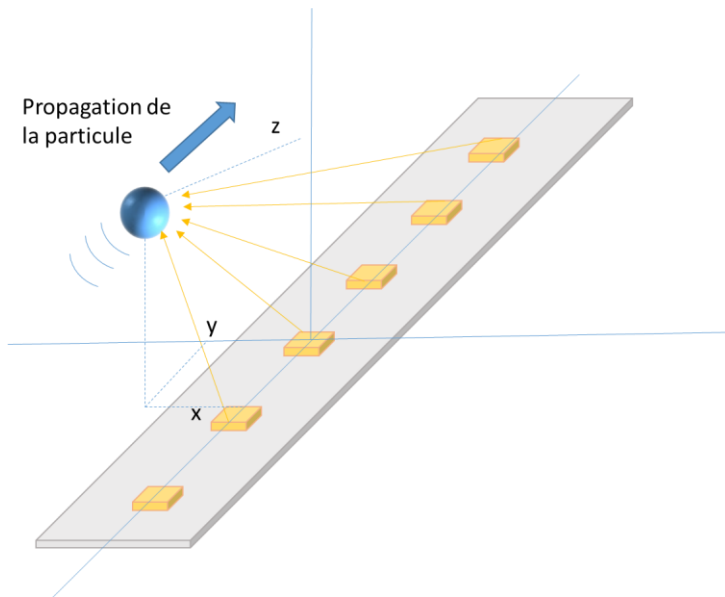
2.1. Principe de désinfection

Le dispositif comprend une barrette de LED UVC placée au fond d'un profilé de section rectangulaire. Deux ventilateurs situés à chaque ouverture du profilé assurent un flux d'air circulant à l'intérieur du profilé. Une particule entrant dans le profilé en sort quelques temps plus tard en ayant subi une dose de rayonnement qui dépend de l'irradiance et du temps passé dans le profilé.

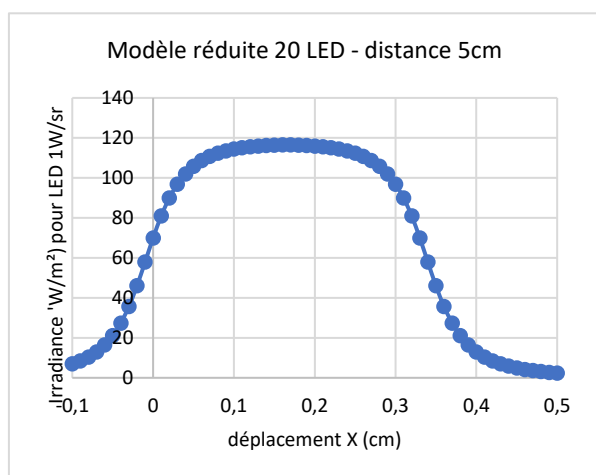
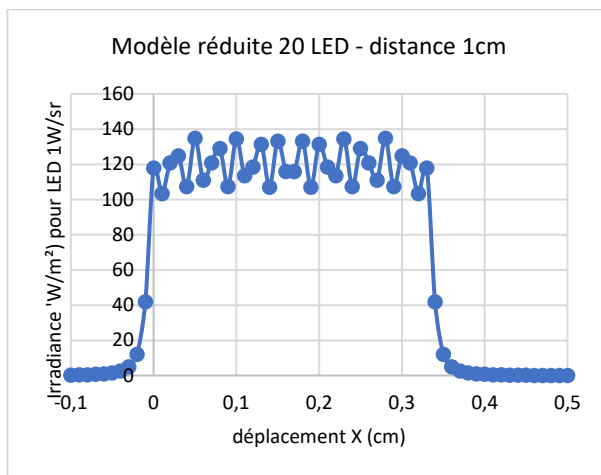
2.2. Interaction avec le rayonnement

Les particules irradiées sont de petites tailles ($<10\mu\text{m}$) et considérées comme sphériques. Une particule est éclairée par plusieurs sources. Chaque source éclaire un hémisphère, dont la normale est dirigée vers la source. Nous avons supposé dans nos calculs que la dose reçue sur chaque hémisphère participe de façon égale à la dose totale reçue par la particule. Il n'y a ainsi pas de nécessité de prendre en compte l'orientation de la particule par rapport aux sources.

L'irradiance mesurée au niveau de la particule et provoquée par une source est caractérisée par une intensité et par la distance à la source. Nous considérons que la distance entre la particule et la source est grande par rapport à la dimension de la source. L'irradiance vue par l'hémisphère est calculée en



Le profil résultant selon l'axe x est relativement constant, dès que la distance z est supérieure au pas des LED.



2.4. Calibration du modèle

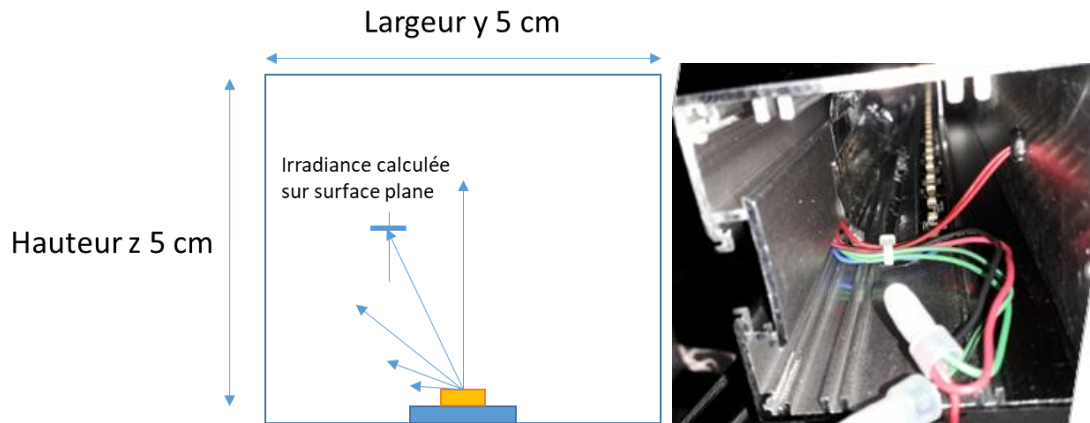
Une calibration du modèle est effectuée à partir de mesures d'une barrette de LED en dehors du tube.



3. Performance du produit

3.1. Cartographie en irradiance sur la section du produit

Les valeurs d'irradiance pour une surface plane, parallèle au plan du PCB dépendent des positions y et z (décalage en largeur et hauteur).



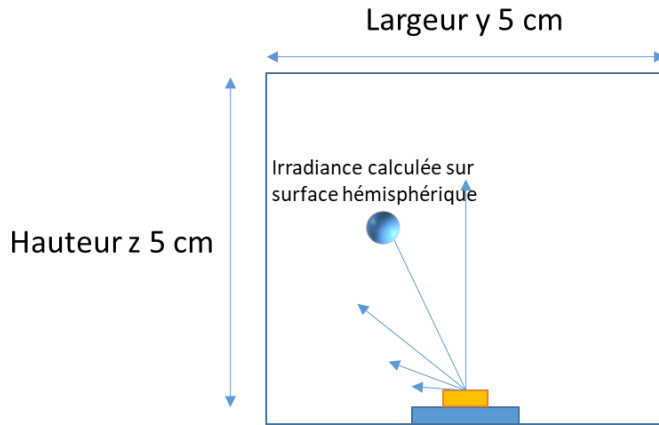
Le gradient sur cette section est assez important. La valeur maximum dans le maillage considéré est de 17,3 W/m² (proche de la LED et au droit de celle-ci), et la valeur minimum de 0.6 W/m² dans les coins situés au même niveau que le PCB.

Irradiance W/m ² , surface plane		largeur (m)												
		-0,03	-0,025	-0,02	-0,015	-0,01	-0,005	0	0,005	0,01	0,015	0,02	0,025	0,03
hauteur (m)	0,06	1,814	1,983	2,151	2,275	2,398	2,438	2,477	2,438	2,398	2,275	2,151	1,983	1,814
	0,055	1,883	2,092	2,302	2,463	2,625	2,678	2,731	2,678	2,625	2,463	2,302	2,092	1,883
	0,05	1,951	2,202	2,452	2,652	2,851	2,918	2,985	2,918	2,851	2,652	2,452	2,202	1,951
	0,045	1,987	2,303	2,619	2,892	3,166	3,262	3,359	3,262	3,166	2,892	2,619	2,303	1,987
	0,04	2,023	2,404	2,785	3,133	3,480	3,607	3,733	3,607	3,480	3,133	2,785	2,404	2,023
	0,035	1,973	2,450	2,927	3,431	3,936	4,139	4,343	4,139	3,936	3,431	2,927	2,450	1,973
	0,03	1,923	2,496	3,069	3,730	4,391	4,672	4,952	4,672	4,391	3,730	3,069	2,496	1,923
	0,025	1,699	2,364	3,028	4,036	5,044	5,589	6,134	5,589	5,044	4,036	3,028	2,364	1,699
	0,02	1,475	2,231	2,988	4,342	5,697	6,506	7,315	6,506	5,697	4,342	2,988	2,231	1,475
	0,015	1,049	1,712	2,375	4,243	6,111	8,384	10,658	8,384	6,111	4,243	2,375	1,712	1,049
0,01	0,624	1,193	1,762	4,143	6,524	10,262	14,000	10,262	6,524	4,143	1,762	1,193	0,624	
0,005	0,198	0,674	1,149	4,044	6,938	12,140	17,342	12,140	6,938	4,044	1,149	0,674	0,198	

La mesure faite à l'intérieur du produit, en un point situé à 30cm de l'ouverture et à 20mm de distance des LED, donne une irradiance de 6,87 W/cm², ce qui est proche de la valeur donnée par ce modèle 7,31 W/m² (encerclée dans le tableau). La différence peut s'expliquer par un léger défaut de positionnement de la sonde dans le tube, à 30cm du l'orifice d'entrée.

3.2. Irradiance et dose reçue par une particule sphérique

Dans le cas d'une particule sphérique, le flux reçu en provenance de chaque LED est vu sans incidence par la partie hémisphérique dirigée vers la source. Le calcul précédent tenait compte de l'angle d'incidence du flux sur la surface de mesure. Ici, les flux issus de chaque source LED ont un même impact sur la particule, quelle que soit l'orientation de cette source. Le calcul prend en compte l'intégration de l'éclairement reçu sur l'hémisphère, faisant ainsi apparaître un facteur π par rapport à une surface projetée.



La cartographie résultante est la suivante, exprimée en mW/cm^2 :

irradiance 1/2 sphère mW/cm^2	largeur (m)													
	-0,03	-0,025	-0,02	-0,015	-0,01	-0,005	0	0,005	0,01	0,015	0,02	0,025	0,03	
hauteur (m)	0,06	4,523	4,826	5,129	5,357	5,585	5,681	5,776	5,681	5,585	5,357	5,129	4,826	4,523
	0,055	4,376	4,719	5,062	5,331	5,599	5,714	5,830	5,714	5,599	5,331	5,062	4,719	4,376
	0,05	4,230	4,613	4,995	5,304	5,613	5,748	5,883	5,748	5,613	5,304	4,995	4,613	4,230
	0,045	3,986	4,417	4,848	5,219	5,589	5,759	5,930	5,759	5,589	5,219	4,848	4,417	3,986
	0,04	3,742	4,221	4,701	5,133	5,566	5,771	5,976	5,771	5,566	5,133	4,701	4,221	3,742
	0,035	3,360	3,885	4,410	4,938	5,467	5,740	6,013	5,740	5,467	4,938	4,410	3,885	3,360
	0,03	2,977	3,548	4,119	4,743	5,368	5,709	6,050	5,709	5,368	4,743	4,119	3,548	2,977
	0,025	2,434	3,005	3,576	4,327	5,078	5,577	6,076	5,577	5,078	4,327	3,576	3,005	2,434
	0,02	1,890	2,461	3,033	3,910	4,788	5,445	6,102	5,445	4,788	3,910	3,033	2,461	1,890
	0,015	1,283	1,728	2,173	3,052	3,930	5,025	6,120	5,025	3,930	3,052	2,173	1,728	1,283
0,01	0,676	0,995	1,314	2,193	3,073	4,605	6,137	4,605	3,073	2,193	1,314	0,995	0,676	
0,005	0,069	0,261	0,454	1,335	2,215	4,185	6,155	4,185	2,215	1,335	0,454	0,261	0,069	

La valeur maximum se situe en face et proche des LED ($6.2 \text{ mW}/\text{cm}^2$), et la valeur minimum se situe proche des bords inférieurs ($0.26 \text{ mW}/\text{cm}^2$).

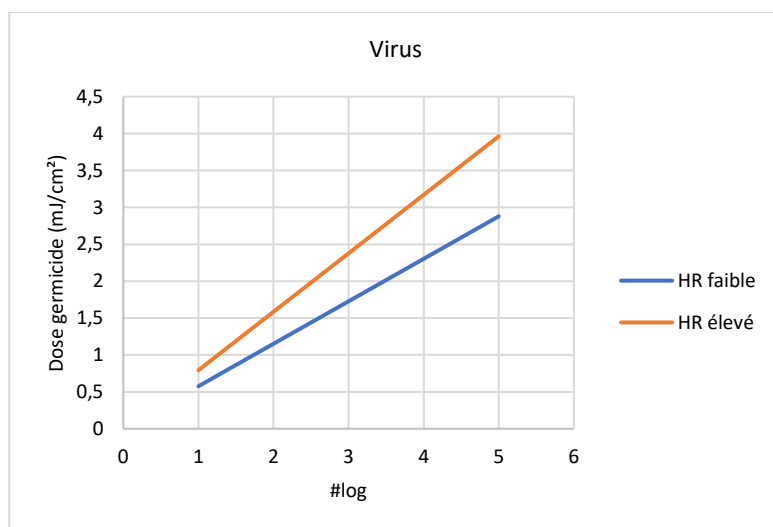
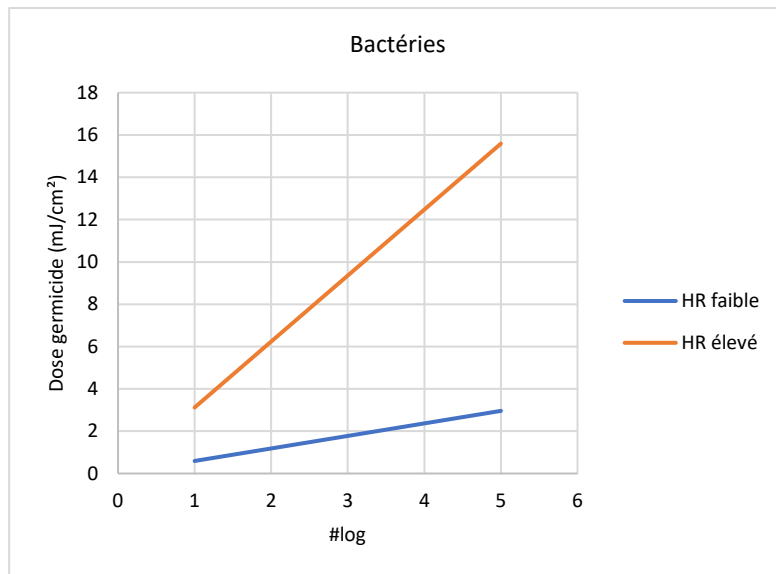
La dose reçue est calculée en prenant en compte le temps de transfert d'une particule dans le réacteur.

Pour une longueur d'exposition de 84cm, une section de 5cm par 5cm et un débit de 3,63. $10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ (7,7 CFM), nous calculons une durée de transfert de 0,56s.

La dose correspondante s'en déduit :

dose ($\text{mW.s}/\text{cm}^2$) ou (mJ/cm^2)	Largeur													
	-0,03	-0,025	-0,02	-0,015	-0,01	-0,005	0	0,005	0,01	0,015	0,02	0,025	0,03	
hauteur	0,06	2,613	2,788	2,964	3,095	3,227	3,282	3,338	3,282	3,227	3,095	2,964	2,788	2,613
	0,055	2,529	2,727	2,925	3,080	3,235	3,302	3,368	3,302	3,235	3,080	2,925	2,727	2,529
	0,05	2,444	2,665	2,886	3,065	3,243	3,321	3,399	3,321	3,243	3,065	2,886	2,665	2,444
	0,045	2,303	2,552	2,801	3,015	3,230	3,328	3,426	3,328	3,230	3,015	2,801	2,552	2,303
	0,04	2,162	2,439	2,716	2,966	3,216	3,335	3,453	3,335	3,216	2,966	2,716	2,439	2,162
	0,035	1,941	2,245	2,548	2,853	3,159	3,317	3,474	3,317	3,159	2,853	2,548	2,245	1,941
	0,03	1,720	2,050	2,380	2,741	3,102	3,299	3,496	3,299	3,102	2,741	2,380	2,050	1,720
	0,025	1,406	1,736	2,066	2,500	2,934	3,222	3,511	3,222	2,934	2,500	2,066	1,736	1,406
	0,02	1,092	1,422	1,752	2,259	2,767	3,146	3,526	3,146	2,767	2,259	1,752	1,422	1,092
	0,015	0,741	0,999	1,256	1,763	2,271	2,903	3,536	2,903	2,271	1,763	1,256	0,999	0,741
0,01	0,391	0,575	0,759	1,267	1,775	2,661	3,546	2,661	1,775	1,267	0,759	0,575	0,391	
0,005	0,040	0,151	0,262	0,771	1,280	2,418	3,556	2,418	1,280	0,771	0,262	0,151	0,040	

réduction exprimée en log. Ces valeurs devront être recalculées pour chaque micro-organisme considéré.



Avec une valeur moyenne de dose de 2,54 mJ/cm², ce système tubulaire est capable d'éliminer une proportion importante de plusieurs micro-organismes, à des niveaux compris entre log1 (90%) et log3 (99,9%).

Ces valeurs restent générales. Pour un micro-organisme particulier, il conviendra de calculer plus précisément la capacité germicide en fonction de la résistance de celui-ci, matérialisée par le taux de décroissance exprimé en m²/J. Par exemple, le taux du virus SARS-CoV-2 a été mesuré à 0,18667 et 0,05524 dans deux études différentes, ce qui conduit à une réduction de 99.12% dans le premier cas, et de 73.6% dans le deuxième cas.

3.4. Comparaison avec données du fabricant

Le rapport de test présenté par le fabricant montre un taux de réduction de 96.67% pour une exposition à 1m, 1h de temps, et pour une bactérie Staphylococcus « un blanc » 8032. Les conditions de ce test ne sont pas explicites et sont différentes de la mise en œuvre effectuée dans ce produit. Néanmoins, il est possible de tenter un rapprochement.

Microorganismes	Échantillon de test	Expérience nombre	Tester Conditions	Numéro de colonie de groupe de contrôle (CFU / m ³)		Numéro de colonie de groupe expérimental (UFC / m ³)		Naturel extinction taux(%)	Taux de meurtre (%)	Moyenne taux de mise à mort (%)
				Avant essai	Après le test	Avant essai	Après le test			
Staphylococcus un blanc 8032	Bande lumineuse à LED	1	Hauteur de la lampe 1m, exposition temps 1H	5.8*10 ⁵	1.9*10 ⁵	4.0*10 ⁵	3.9*10 ³	67.24	97.02	96.67
		2		6.2*10 ⁶	2.5*10 ⁶	6.1*10 ⁶	8.4*10 ⁴	59.68	96.58	
		3		6.0*10 ⁶	2.3*10 ⁶	5.8*10 ⁵	8.0*10 ³	61.67	96.40	

Le microorganisme de test est un staphylocoque blanc. Les données de la littérature nous indiquent un taux de décroissance sous UVC compris entre 0.044 J/m² et 0.125 J/m². L'exposition de 2,7mW/cm mesurée par PISEO représente une dose de 9.72mJ/cm² **sur une durée de 1h. Les taux d'extinction calculés sont de 98.6% (0.044 J/m²) et de 99.99947% (0.125 J/m²)**. La mesure de 96.67% correspondrait à un cas de microorganisme à faible taux de décroissance, donc difficile à éliminer. Il n'est pas possible de d'en dire plus, faute de précisions test sur la méthode de test.