

Les effets des UV-C sur le SARS-CoV-2

1. Les coronavirus et le SARS-COV2

Les coronavirus sont des virus zoonotiques qui font partie de la famille des Coronaviridae. C'est une famille de virus à ARN simple brin enveloppés, de sens positif. Le génome viral mesure de 26 à 32 kb.

Les coronavirus sont transmis par voie fécale-orale ou par aérosols de sécrétions respiratoires. Ils sont présents dans le monde entier et infectent une large diversité de mammifères et d'oiseaux.

Ils sont très souvent bénins et restent situés dans le monde animal, mais peuvent muter et se transmettre à l'homme. On parle alors de zoonose.

Ils entraînent parfois, dans le cas d'une mutation et d'une transmission, une maladie chez l'homme comme le Syndrome Respiratoire Aigu Sévère (SARS ou SRAS), le syndrome respiratoire du Moyen-Orient (MERS) ou l'actuelle maladie à coronavirus 2019 (COVID19).

Le virus qui a entraîné l'actuelle pandémie mondiale est le **SARS-CoV-2** (*Severe Acute Respiratory Syndrome COronaVirus 2*). La maladie qui en découle est le CoVid19 (COronavirus Vlrus Disease 2019).

Le **SARS-CoV-2** est apparenté au coronavirus responsable du SRAS, le SARS-CoV, et appartient comme celui-ci à l'espèce virale SARSr-CoV2, dans le sous-genre Sarbecovirus du genre Betacoronavirus.

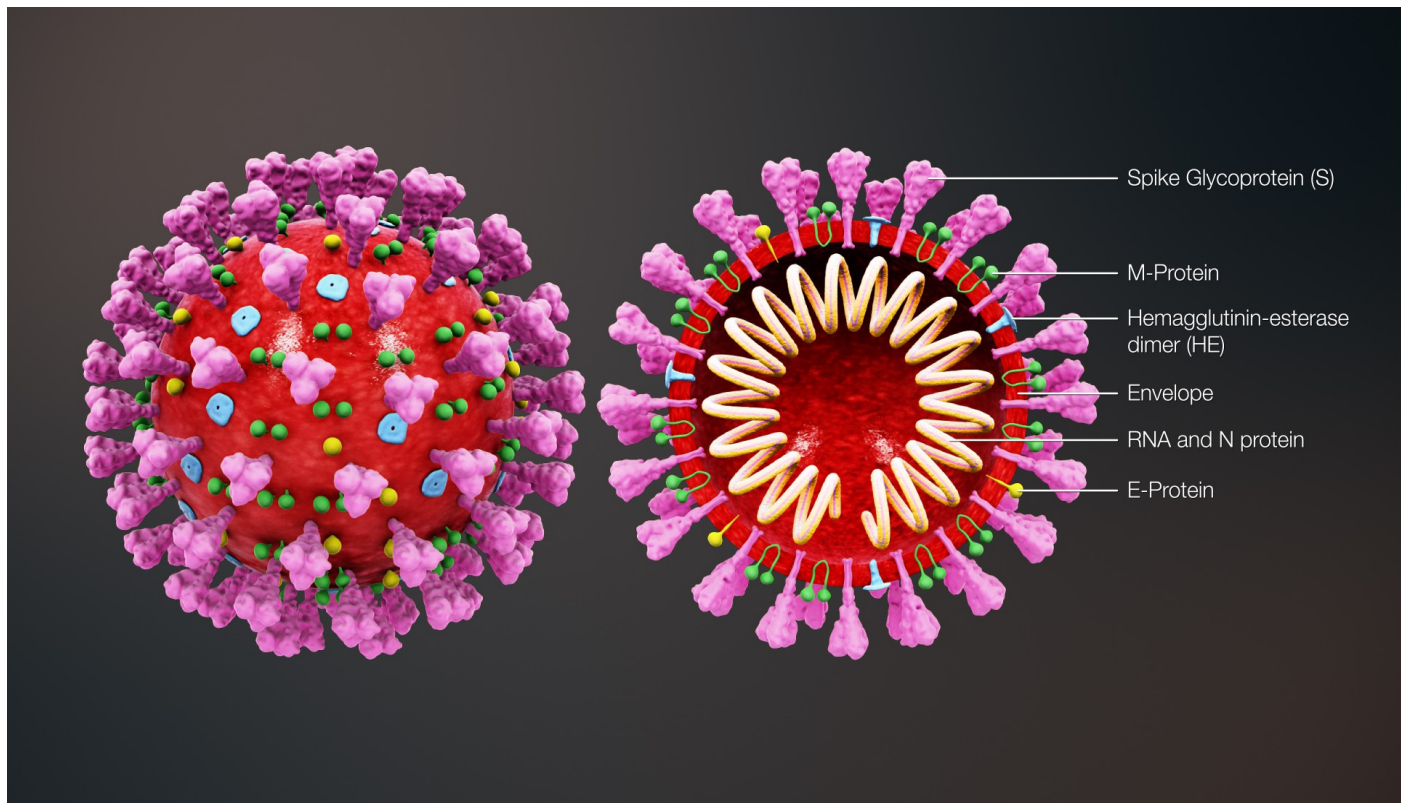
Chaque virion SARS-CoV-2 mesure de 50 à 200 nanomètres de diamètre, ce qui le classe parmi les virus de grande taille. Le génome viral est un ARN monocaténaire de 29903 nucléotides, ce qui est typique d'un Betacoronavirus (légèrement plus grand que les virus de la grippe, du SRAS et du MERS).

Son génome, d'abord réputé stable, est constitué d'un ARN simple-brin de 29903 nucléotides. Il a été séquencé le 5 janvier 2020 à l'université Fudan de Shanghai en Chine.

En termes d'homologie, le SARS-CoV-2 est :

- à 50 % identique à celui du MERS-CoV
- à 79,5 % identique à celui du SARS-CoV
- à 90 % identique (99 % localement au niveau du site qui assure la fixation au récepteur cellulaire ACE2, déterminant pour la spécificité d'hôte) à un coronavirus présent chez les pangolins.
- à 96 % identique à celui de BetaCoV/bat/Yunnan/RaTG13/2013, un coronavirus d'une chauve-souris chinoise du genre Rhinolophe : *Rhinolophus affinis*.

Ce séquençage nous permet de situer le SARS-CoV-2 et de connaître sa structure ARN.



Comme d'autres coronavirus, le SARS-CoV-2 possède quatre protéines structurales :

- protéines S (dites protéine spike ou protéine de pointe) : elles forment les protubérances de la « couronne », présumée essentielles pour lier le virus à un (ou plusieurs) récepteur(s) en surface d'une cellule (après activation par une autre protéine de la membrane cellulaire).
Ces protéines semblent être l'un des principaux déterminants du tropisme viral (le tropisme d'un virus se définit comme l'ensemble des cellules cibles et permissives à ce virus. Le connaître permet de déterminer le ou les organes cibles, ainsi que la ou les espèces animales pouvant être infectées ; les virus à ARN mutent facilement ; quand une mutation permet au virus de changer son tropisme, il peut, soit franchir la barrière des espèces et infecter un nouvel hôte (humain, porc par exemple), soit cibler un autre organe (péritonite infectieuse fatale du chat et du furet par exemple, avec un autre coronavirus). La publication du génome viral a permis de la modéliser (voir ci-contre). Elle a aussi été décrite au niveau atomique par la microscopie électronique cryogénique. Cette protéine S semble plus efficace que celle du SARS-CoV-1 car donnant au SARS-CoV-2 une affinité pour l'ACE2 10 à 20 fois plus élevée que celle du virus du SRASc ; ceci expliquerait pourquoi la Covid-19 se répand bien mieux que le SRAS. Un segment de cette protéine spike semble caractéristique du SARS-CoV-2.
- protéine E (enveloppe) ;
- protéine M (membrane) ;
- protéine N (nucléocapside) ; c'est elle qui enveloppe et protège l'ARN viral (le code génétique du virus).

Un coronavirus — hors organisme — reste infectieux environ deux à trois heures dans l'air (en milieu sec) et peut-être jusqu'à trois jours en milieu humide.

<https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.03.09.20033217v2>

Sur des surfaces lisses non poreuses (acier inoxydable, plastiques, céramiques, verre, etc.), des travaux antérieurs ont montré que le SARS-CoV, très proche, peut rester infectieux jusqu'à neuf jours, sauf s'il s'agit de cuivre, de laiton, et de bronze qui sont naturellement biocides pour de nombreux organismes ou microbes.

[https://www.journalofhospitalinfection.com/article/S0195-6701\(20\)30046-3/fulltext](https://www.journalofhospitalinfection.com/article/S0195-6701(20)30046-3/fulltext)

Pour le SARS-CoV-2, la durée de demi-vie (temps nécessaire pour que la moitié des virus soient inactivés) est dans un environnement moyen d'environ treize heures sur de l'inox et seize heures sur du polypropylène.

Le papier / carton (non plastifié) ou la plupart des textiles de vêtements non-imperméables ne sont pas considérés comme « lisses », et de manière générale les virus de ce type y survivent bien moins longtemps que sur une surface lisse de métal ou de plastique.

À la différence des norovirus ou d'autres virus courants protégés par une enveloppe protéique plus ou moins solide, tous les coronavirus (dont le SARS-CoV-2) sont très vulnérables au savon, aux solutions hydro-alcooliques et aux désinfectants ménagers courants, ainsi qu'aux désinfectants industriels et hospitaliers adaptés ; les coronavirus déposés (via des gouttelettes ou des aérosols) sur les surfaces intérieures sont immédiatement détruits car leur enveloppe protectrice n'est qu'une simple couche de lipides.

Donc le SARS-CoV-2, de par son enveloppe lipidique est faible face aux désinfectants courants, et plus particulièrement, à l'alcool isopropylique à 70 %.

<https://www.biorxiv.org/content/10.1101/2020.03.10.986711v1.full.pdf>

<https://link.springer.com/article/10.1007/s00430-004-0219-0>

2. Les désinfectants dans notre métier.

Dans notre métier, l'utilisation de ces solvants à base d'alcool nous est déconseillé par les fabricants de microphones cravates, surtout à cause de la composition chimique de leurs câbles et de l'interaction avec les solvants.

En effet, les fabricants de microphones « cravates » nous déconseillent d'utiliser des solvants contenant de l'alcool sous peine de durcissement, voire de craquelure des câbles (DPA et Sanken).

DPA préconise de nettoyer les microphones cravates omni dans de l'eau déminéralisée et préconise l'huile de coco et l'huile d'olive pour les câbles des microphones cravates; mais conseille également une autre option, un dégraissant pour vélo :

<http://www.finishlineusa.com/products/bicycle-degreasers/multi-bike-degreaser>

Sanken préconise d'utiliser du WD40 pour nettoyer les câbles de leurs micros cravates, puis d'utiliser de l'alcool ménager pour ôter le WD40.

Voice Technologies ne voit aucun inconvénient à utiliser des solvants sur ces micros cravates vu la nature étanche de leurs microphones et la résistance du câble utilisé.

En ce qui concerne les émetteurs HF, l'alcool isopropylique semble être une proposition efficace due à une évaporation assez rapide. Les autres produits sont à proscrire. Ils peuvent entrer dans l'émetteur et se loger sous les composants de surface et générer une oxydation à long terme.

Mais l'alcool isopropylique a tendance à opacifier les plastiques transparents de protection des écrans.

De plus, ces processus de désinfection entraînent un temps de travail non négligeable sur un plateau de tournage, ainsi que des coûts de fournitures tout aussi non négligeables.

C'est pour cela que nous nous sommes intéressés aux effets des UVC sur la désinfection de notre matériel.

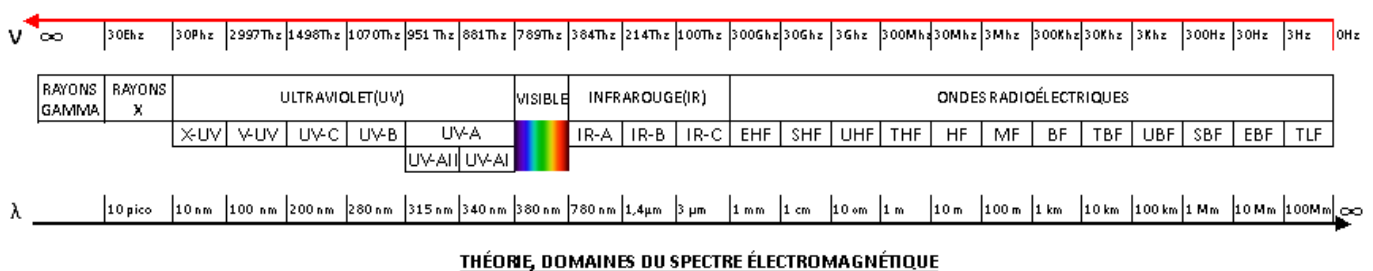
3. Introduction aux UV

Les rayons ultra-violets ont été découverts en 1801 par le physicien allemand Johann Wilhelm Ritter.

Leurs longueurs d'onde se situent entre 100 – 400 nm. Ce qui les placent, dans le spectre électromagnétique, entre le visible et les rayons X.

Pour reprendre des unités qui nous parlent, les fréquences correspondent à 30 PHz - 750 THz.

Pour aller plus loin dans ce domaine : <https://www.youtube.com/watch?v=FvbNrwiIrNU>



1. En 1932, William Coblentz détermine les bandes UVA, UVB et UVC selon les propriétés de transmission de 3 verres communs :

- un filtre de baryum-silex définit les UVA (315-400 nm)
- un filtre de baryum-silex-pyrex l'UVB (280-315 nm) ;
- un filtre pyrex définit l'UVC (longueurs d'onde plus courtes que 280 nm).

Il en découlera naturellement une classification : La norme ISO 21348 :

Nom	Abréviation	Intervalle de Longueur d'onde (en nanomètres)	Énergie du photon (en électronvolts)	Notes / autres dénominations
Ultraviolet	UV	100 – 400 nm	3,10 – 12,4 eV	
Vacuum Ultraviolet	VUV	10 – 200 nm	6,20 – 124 eV	
Ultraviolet extrême	EUV	10 – 121 nm	10,25 – 124 eV	
Hydrogen Lyman-alpha	H Lyman-α	121 – 122 nm	10,16– 10,25 eV	
Ultraviolet lointain	FUV	122 – 200 nm	6,20 – 10,16 eV	Far Ultraviolet
Ultraviolet C	UVC	100 – 280 nm	4,43 – 12,4 eV	Ultraviolet germicidal
Ultraviolet moyen	MUV	200 – 300 nm	4,13 – 6,20 eV	Middle Ultraviolet
Ultraviolet B	UVB	280 – 315 nm	3,94 – 4,43 eV	
Ultraviolet proche	NUV	300 – 400 nm	3,10 – 4,13 eV	Near ultraviolet-Visible par les oiseaux, insectes et poissons
Ultraviolet A	UVA	315 – 400 nm	3,10 – 3,94 eV	lumière noire

Plus on descend dans les longueurs d'onde, plus les rayonnements sont énergétiques. La proximité des EUV (de 10 à 121 nm) avec les rayons X souligne la puissance et les interactions entre ces rayonnements et le monde du vivant.

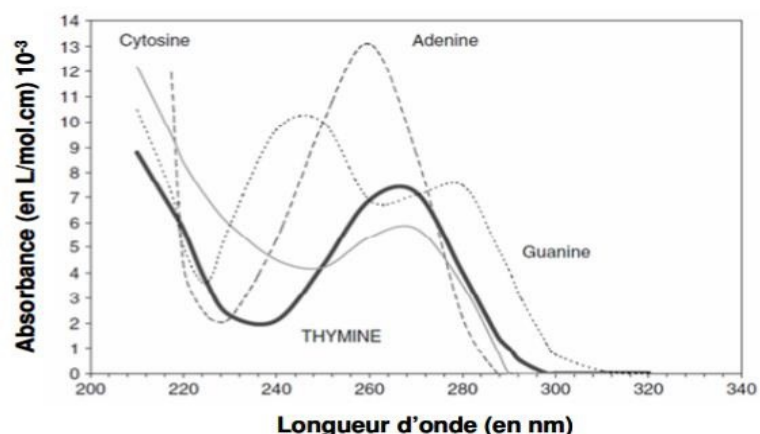
4. Les UVC et les Coronavirus

Depuis les dernières épidémies et plus particulièrement celle du SARS-CoV de 2003, les scientifiques du monde entier se sont penché sur les effets bactéricides des UVC, même si ce domaine de recherche est étudié depuis de années sur les virus, bactéries et microbes.

En effet, les UVC sont absorbés par les bases de l'ARN et de l'ADN, et peuvent provoquer la fusion photochimique de deux pyrimidines adjacentes en dimères liés de manière covalente, qui deviennent alors des bases non appariées et entraînent

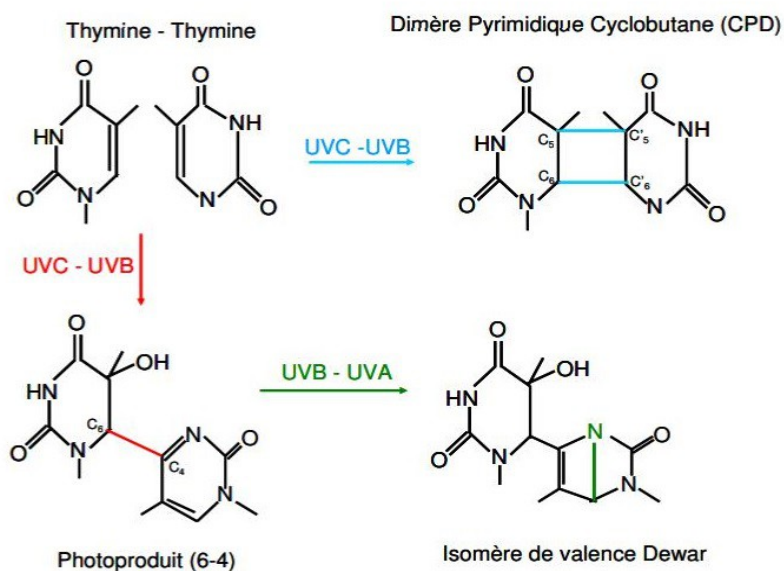
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016609340400179X#bib15>

L'effet biocide des rayonnements UV (UVB et UVC : gamme 200 – 315 nm) est principalement lié au fait qu'ils sont absorbés par l'ADN et l'ARN, molécules qui supportent les fonctions répliquatives et métaboliques. En effet, l'ADN et l'ARN sont constitués d'un enchaînement de nucléotides qui inclut des bases puriques (adénine, guanine) et des bases pyrimidiques (cytosine, thymine ou uracile). Les spectres d'absorption des quatre nucléotides de l'ADN montrent un maximum d'absorption autour de 260 nm.



Spectres d'absorption des bases azotées (Kowalski, 2009)

Cette absorption induit des réactions de dégradation impliquant plus particulièrement les bases pyrimidiques de l'ADN (thymine et cytosine) et de l'ARN (uracile et cytosine). Des réactions de dimérisation sont alors induites aux sites comprenant deux pyrimidines adjacentes. Plusieurs types de photoproduits sont alors formés : les dimères de type cyclobutane (70 à 80% des photoproduits) et les adduits pyrimidine (6-4) pyrimidone (20 à 30%). Ces derniers peuvent ensuite être transformés photochimiquement par les UVA en isomères de valence Dewar (figure 13). Les UVB peuvent ainsi générer 3 types de photoproduits pour chacun des 4 doublets de pyrimidine, ce qui engendre donc 12 lésions dans le génome d'un brin d'ADN (Banyasz et al., 2009).



Structure chimique des photoproduits dimériques de pyrimidine induits par les rayonnements UVB et UVC dans l'ADN.

La figure ne montre que les lésions thymine – thymine (TT) mais des composés équivalents peuvent se former entre thymine et cytosine ou entre 2 cytosines (d'après Banyasz et al., 2009)

Lors de la formation des dimères pyrimidiques cyclobutanes (CPD), les liaisons hydrogène qui étaient présentes entre les deux pyrimidines adjacentes (cas des thymines sur la figure 13), sont affaiblies par la perte d'aromaticité. De plus, les liaisons du cyclobutane formé perturbent la structure de l'ADN, créant ainsi une distorsion dans l'hélice de l'ADN. Cette lésion bloque la réplication et la transcription, ce qui conduit aux effets cytotoxiques et mutagènes, induisant la mort des micro-organismes irradiés (Cheung et al., 1999).

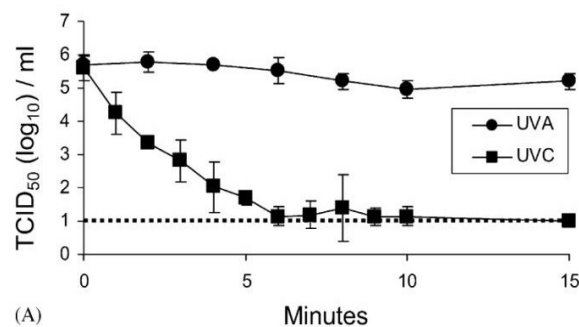
Source : ANSES. Étude sur la désinfection de l'eau.

<https://www.anses.fr/fr/system/files/EAUX2009sa0002Ra.pdf>

Pour simplifier, les UVC modifient la structure du virus et empêchent son ARN de se reproduire ce qui entraîne la mort du virus.

Dans l'étude « Inactivation of the coronavirus that induces severe acute respiratory syndrome, SARS-CoV » dans le Journal of Virological Methods 121 (2004) 85–91 de Miriam E.R. Darnella, Kanta Subbaraob, Stephen M. Feinstonea, Deborah R. Taylor, une lampe UVC est placée à 3 cm du virus et développe $4016 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ (ou $\mu\text{W} = 10^{-6} \text{ J/s}$).

Le résultat démontre une éradication du virus en 5 mns avec la lampe UVC.



5. Notre solution

Avec le résultat de cette étude, il nous faut calculer l'irradiance d'une lampe UVC et ainsi déterminer la puissance nécessaire et le temps d'exposition.

Comme vu plus haut, ils utilisent une source UVC avec $4\text{mW}/\text{cm}^2$ et ce, durant 5 mns.

La surface d'exposition de chaque lampe dans notre valise de décontamination est de :

$$46,5 \text{ cm} \times 33,5 \text{ cm} = 1\,557,75 \text{ cm}^2$$

Les lampes UVC de 24 W que nous avons choisi émettent 7,3 W en UVC à 254 nm.

$$7,3 \text{ W} = 7300 \text{ mW}$$

$$7300 \text{ mW} / 1557,75 \text{ cm}^2 = 4,6 \text{ mW}/\text{cm}^2$$

Ainsi, avec le temps d'exposition de 10 mns que nous préconisons, et l'utilisation de 2 lampes de 24 W chaque côté du matériel à désinfecter, l'efficacité de notre système est presque quadruplée par rapport à l'étude précitée. Nous considérons que ce facteur de 4 est amplement suffisant pour que notre protocole de désinfection soit efficace.

De plus, un matériau réfléchissant est disposé sur les fonds de la pellicase afin d'éliminer les zones d'ombres.

6. Précaution d'utilisation

Les UVC sont nocifs pour la peau et les yeux.

Ils créent des brûlures voire des cancers de la peau et provoquent des cataractes (opacification partielle ou totale du cristallin),

Ainsi, nous avons sécurisé notre pellicase par des contacteurs de fermeture qui éteignent les lampes dès l'ouverture.

De plus, l'embase secteur comporte un fusible facilement remplaçable.

Un temporisateur programmable permet de régler le temps d'exposition avec arrêt automatique.

2 capteurs d'UVC situés près des lampes permettent de savoir si le système fonctionne bien à la fermeture via 2 diodes lumineuses en face avant.

Il est important d'éviter les zones d'ombres et de disposer le matériel à désinfecter sans chevauchement sur la plaque de plexiglas prévue à cet effet.

La première version de la pellicase fonctionnera en 220V et nous espérons sortir une version 12V d'ici peu.

Les lampes ont une durée de vie de 8000 heures soit 480000 mn. Nous considérons qu'il faut les changer au bout de 4000 heures d'utilisation afin de garantir leur efficacité.

