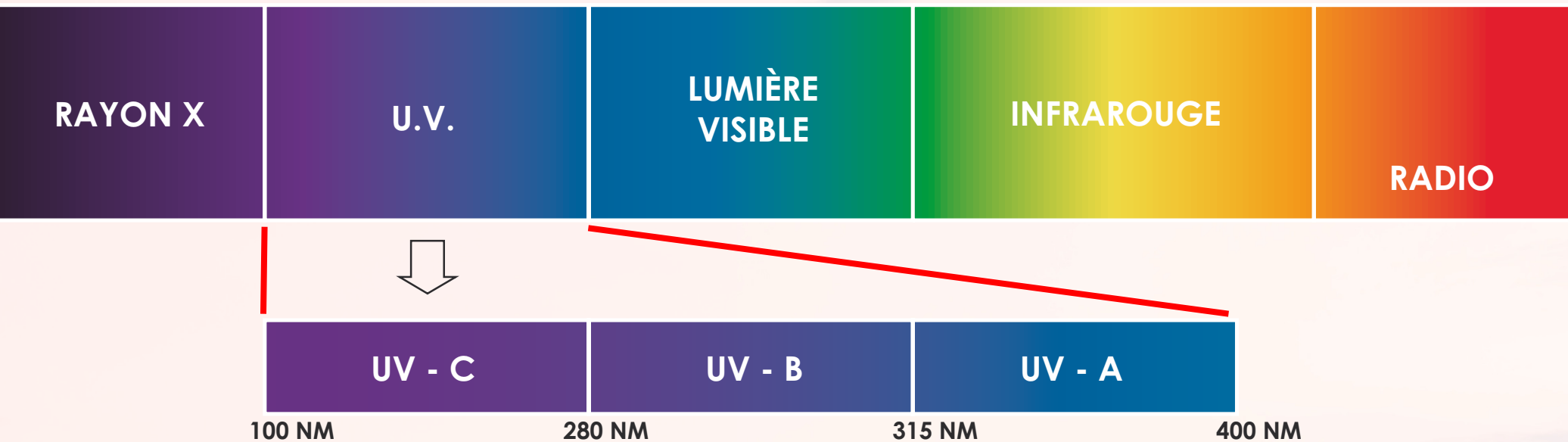


QUE SONT LES RAYONS ULTRAVIOLETS ?

L'ULTRAVIOLET FAIT PARTIE DU SPECTRE DE LA LUMIÈRE NON-VISIBLE.



LE TRAITEMENT UV

Le traitement par la lumière ultraviolette (UV-c) est devenu une technologie reconnue pour la désinfection de l'eau en raison de sa très grande capacité à tuer ou à inactiver de nombreuses espèces de micro-organismes pathogènes. La désinfection par rayonnement ultraviolet est efficace contre les bactéries, les parasites protozoaires (p. ex. Giardia, Cryptosporidium), et, à fortes doses, peut aussi être efficace contre la plupart des virus.

(>> [Voir le tableau des micro-organismes en fin de document](#))

La désinfection par traitement UV est appropriée dans le cas d'un certains nombre d'usages résidentiels et commerciaux de l'eau, tels que :

- Agriculture : bétail, irrigation, laiteries, etc.
- Eau potable domestique, usage résidentiel
- Eau potable domestique, usage municipal
- Industrie des aliments et des boissons
- Brasseries, vineries
- Traitement secondaire des eaux usées municipales

Le présent document technique fournit des renseignements de base sur les sujets suivants :

- 1 . Qu'est-ce que la désinfection par traitement UV?
- 2 . Comment fonctionne la technologie UV?
- 3 . Comment dimensionner et installer correctement un petit système de désinfection par traitement UV
- 4 . Comment utiliser et entretenir un système de traitement UV

Il constitue un guide sur l'utilisation de la désinfection par traitement UV. Les dispositifs UV ne fonctionnent pas en mode autonome. Il faut d'abord appliquer un prétraitement approprié spécialement conçu (p. ex. filtration) avant d'utiliser des dispositifs UV.

QU'EST-CE QUE LA DÉSINFECTION PAR TRAITEMENT UV ?

Les systèmes typiques de désinfection par traitement UV comprennent la circulation de l'eau à travers un récipient contenant une lampe UV, comme l'illustre la figure 1. Durant le passage de l'eau dans cette chambre de traitement, les micro-organismes pathogènes présents sont exposés à une énergie lumineuse ultraviolette intense qui altère leurs matériels génétiques (c.-à-d. les acides nucléiques, soient l'ADN & l'ARN) nécessaires à leur reproduction. Ces lésions irréversibles empêchent le micro-organisme de se multiplier et de se reproduire, et il meurt donc à terme. Il ne peut alors plus infecter un hôte humain ou animal.

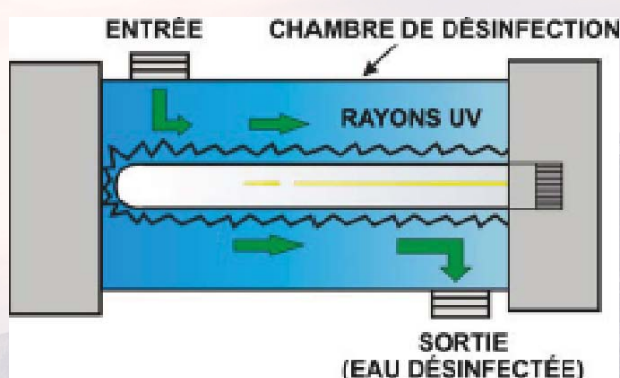


Figure 1: Schéma élémentaire d'une unité de traitement UV avec lampe. Les micro-organismes ne peuvent plus se multiplier, plus aucune infection n'a lieu. La désinfection de l'eau par rayons ultraviolets se fait donc par inactivation des micro-organismes.

COMMENT FONCTIONNE LA TECHNOLOGIE UV-C ?

La lumière ultraviolette (UV) est un rayonnement électromagnétique qui se déplace par ondes dans toutes les directions à partir de la source émettrice (>lampe). On la trouve dans le spectre lumineux entre les rayons X et la lumière visible. Du point de vue de la désinfection microbienne, la longueur d'onde la plus efficace est située à **254 nano-mètres** car il s'agit de celle pour laquelle l'intensité énergétique est optimale : Elle caractérise les **rayons UV de type C**. La relation entre l'efficacité de la désinfection microbiologique et la longueur d'onde émise par la lampe UV est illustrée ci-dessous (fig.2)

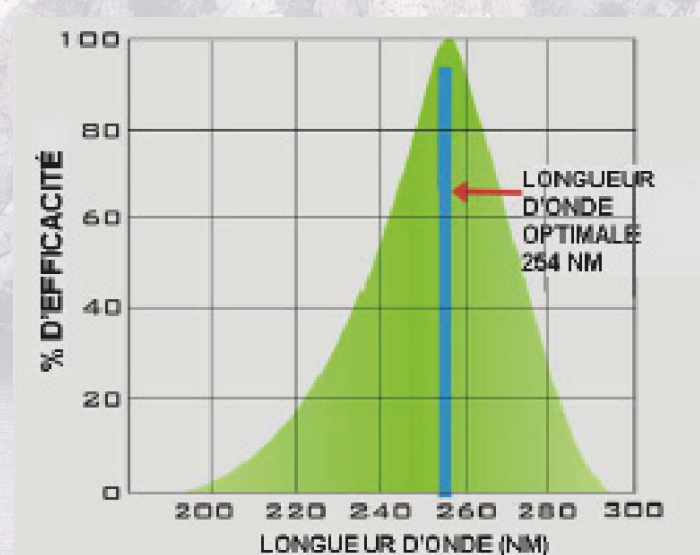


figure 2.

En général, un appareil de désinfection par traitement UV est composé d'une lampe ou ampoule, d'une source d'alimentation et d'un ballast électronique. La figure 3 donne un exemple d'appareil type.



Figure 3: Exemple d'appareil de traitement UV avec son capot enlevé

Les lampes à décharge de mercure à basse pression sont celles utilisées le plus fréquemment dans les petits systèmes : Elles sont de conception et de construction semblables aux lampes fluorescentes et elles émettent une longueur d'onde de 254 nm, qui est considérée comme la bonne source de rayonnement UV pour procéder à la désinfection. Il se forme un arc électrique sur toute la longueur de la lampe qui se propage dans un gaz inerte contenant des vapeurs de mercure. La chaleur libérée par l'arc électrique **ionise** la vapeur de mercure qui émet alors le rayonnement UV.

La lampe à rayons UV est construite en quartz pur, car celui-ci est traversé facilement par le rayonnement UV. Elle est emboîtée dans un manchon de protection également en quartz qui permet l'exposition de l'eau aux effets désinfectants du rayonnement UV. Cette gaine de quartz protectrice empêche l'eau d'entrer en contact direct avec la lampe UV, ce qui modifierait la température de l'ampoule de verre, donc affecterait la pression de mercure dans la lampe et, à son tour, la puissance des rayons UV émis. Une gaine en TéflonMD pourrait être utilisée à la place de la gaine de quartz, mais alors que ce dernier n'absorbe que 5 % du rayonnement UV, le TéflonMD en absorbe 35 % ; par conséquent, l'usage du TéflonMD est déconseillé.



LES BALLASTS D'ALIMENTATION

Les ballasts servent à contrôler la puissance des lampes UV. Ils doivent fonctionner à une température inférieure à 60 °C pour éviter leur défaillance prématurée. Ceux utilisés le plus fréquemment sont de type électronique ou électromagnétique. Les ballasts électroniques fonctionnent à beaucoup plus haute fréquence, ce qui réduit la température de fonctionnement de la lampe, la consommation d'énergie et la production de chaleur, et prolonge la durée de vie du ballast (DeMers et Renner, 1992, dans "Alternative Disinfectants and Oxidants Guidance Manual," EPA, 1999). Certains types de ballasts électroniques assurent une puissance constante de la lampe quelle que soit la tension ou la fréquence du courant électrique d'entrée.



FACTEURS AYANT UNE INCIDENCE SUR L'EFFICACITÉ DU TRAITEMENT UV

L'efficacité d'un système de traitement UV pour désinfecter une eau dépend des propriétés physico-chimiques et microbiologiques de cette eau. D'une manière générale, tout ce qui peut réduire ou altérer la bonne propagation du rayonnement UV dans l'eau est susceptible de faire perdre de manière radicale de l'efficacité et du rendement au procédé de désinfection UV.

- On parle ici de **TRANSMITTANCE-UV (TUV)** qui mesure le pourcentage de transmission de la lumière UV au milieu qu'elle doit désinfecter (>l'eau). Cette transmittance est donc un indicateur d'efficacité du procédé. De ce point de vue, L'EPA (Eau Potable & Assainissement) classe les eaux de la manière suivante : TUV > 95% excellente / TUV > 85% bonne / TUV > 75% passable.

La grande majorité des constructeurs de stérilisateur-UV suggèrent TUV > 75% pour garantir l'efficacité de leurs matériels ... Si ce n'est pas le cas, il est alors IMPÉRATIF DE PRÉTRAITER L'EAU avant sa désinfection UV ! Les principaux facteurs de l'eau qui doivent être corrigés sont généralement les suivants :

- **La Turbidité de l'eau / Solides en suspension :** Ces matières solides (sédiments, limon, particules diverses) vont inévitablement se déposer au sein de la chambre de traitement du stérilisateur et sur la gaine en quartz de protection de la lampe UV. Le rayonnement UV va ainsi perdre en efficacité. Il faut donc filtrer l'eau à une finesse d'au moins 10 microns pour éliminer ces matières : Les solides totaux en suspension ne devraient pas excéder une concentration de 10 mg/L et la turbidité néphélométrique ne devrait pas dépasser 1 unité NTU.

- **Les solides dissous totaux (SDT) :** ils sont constitués des matières et polluants inorganiques présents dans l'eau. Ils réduisent la pénétration de la lumière UV dans l'eau et il est généralement recommandé que ces SDT soient à une concentration inférieure à 1000 mg/L avant traitement UV. La grande majorité de ces polluants inorganiques peuvent être éliminés par adsorption sur un Charbon actif.

- **Présence de Fer & Manganèse dans l'eau :** Les ions-Fer et Manganèse peuvent s'oxyder en captant l'oxygène dissous dans l'eau et ainsi former des oxydes de Fer de couleur rouille/orangée et des oxydes de Manganèse de couleur noire. Outre la couleur ainsi donnée à l'eau réduisant la transmittance UV (TUV) du rayonnement, ces oxydes vont inévitablement se déposer dans la chambre de traitement du stérilisateur et sur la gaine en quartz de protection de la lampe UV. Il est donc impératif de déferriquer et démanganiser l'eau avant traitement UV, par un traitement adéquat.

- **Couleur de l'eau :** L'eau doit impérativement être CLAIRE et LIMPIDE avant désinfection UV. Une coloration excessive de l'eau peut être causée par chacun des paramètres précédemment énoncés, à savoir Turbidité / SDT / Fer & Manganèse, et seule une étude détaillée des Analyses d'eau permettra de déterminer la(les) cause(s) de cette coloration afin de mettre en place le(s) prétraitement(s) approprié(s) pour corriger le problème.

- **Eau dure / Titre hydrotimétrique (TH) élevé :** Une eau est qualifiée "dure" ou "incrustante" lorsque son titre TH est supérieur à 25°F. Cette eau est alors excessivement chargée en carbonates de Calcium (CaCO_3) et en carbonates de Magnésium (MgCO_3), les deux principaux responsables des dépôts de TARTRE dans les circuits d'eau. Pour éviter les encroûtements de tartre au sein du stérilisateur UV, à plus ou moins longue échéance, il est alors souhaitable de traiter ce problème avant la désinfection UV de l'eau, Le traitement anti-calcaire à mettre en place peut être soit PHYSIQUE (>dégradation des carbonates pour éviter leur dépôt), soit CHIMIQUE (>élimination chimique radicale des carbonates via une résine absorbante de type cationique).

AVANTAGES DU TRAITEMENT UV

Les avantages du traitement UV par rapport aux autres procédés de désinfection de l'eau sont principalement les suivants :

- **Aucune utilisation de produits chimiques** dans le processus de désinfection de l'eau, comme le Chlore ou l'Ozone pour les procédés les plus courants. Ces intrants chimiques donnent très souvent mauvais goût et odeur à l'eau. Ici, les propriétés organoleptiques et minérales de l'eau sont préservées et le goût et l'odeur de l'eau restent inchangés.
- **Pas de sous-produits créés dans l'eau** à l'issu du traitement UV. À l'opposé, et sous certaines conditions physico-chimiques, la chloration de l'eau peut créer de nombreux dérivés chlorés plus ou moins toxiques comme les Trihalométhanes (THM) ou les Haloacétates (HAA). De même, une ozonation mal maîtrisée peut créer des dérivés de Bromates dans l'eau.
- **Procédé de traitement en ligne et instantané** de l'eau qui ne nécessite pas de réservoir de mise en contact. L'installation d'un stérilisateur UV est donc très facile et compacte, directement sur la ligne d'eau à désinfecter. Il faut simplement bien dimensionner l'appareil selon le débit de traitement qu'il devra prendre en charge et selon le niveau de contamination bactérienne à éradiquer.
- **Un stérilisateur UV est extrêmement facile à utiliser et à maintenir**, sans réglages ni "dosages" particuliers. Seule la lampe UV est à changer régulièrement, environ toutes les 8500 heures de fonctionnement (... soit environ tous les ans en fonctionnement 24h/24, ce qui est recommandé). Le changement de cette lampe n'est pas plus compliqué que celui d'un tube d'éclairage fluorescent au néon. Les coûts d'exploitation et d'entretien d'un stérilisateur UV sont donc extrêmement réduits.

LIMITATIONS DU TRAITEMENT UV

- La désinfection de l'eau aux UV est d'une redoutable efficacité **MAIS l'eau ainsi traitée n'est pas destinée à être stockée** ! Sa consommation doit intervenir dans les 36 à 72 heures au maximum car le procédé n'apporte pas de capacité désinfectante résiduelle à l'eau durant un stockage prolongé, contrairement à la chloration par exemple. Le stérilisateur UV doit donc être implanté directement sur la ligne d'eau d'alimentation d'un habitat et au plus près des points de consommation de l'eau de manière à éviter toute recontamination bactérienne possible après le traitement UV.
- **La qualité initiale de l'eau** peut très fortement altérer le rendement de la désinfection UV si les prétraitements préalables de l'eau ne sont pas efficaces.
- **Une désinfection complète du réseau de distribution d'eau** au sein de l'habitat peut être nécessaire si ce réseau est contaminé bactériologiquement. La mise en place d'un stérilisateur UV à l'amont d'un tel réseau ne permettra pas d'éradiquer cette flore bactérienne installée dans les canalisations, et celle-ci recontaminera irrémédiablement l'eau stérile en sortie du traitement UV. Il faut donc procéder à un "flush" désinfectant de tout le réseau AVANT la mise en place du stérilisateur UV sur les installations les plus anciennes.
- **Le rayonnement UV agit moins bien sur la stérilisation des virus** par rapport à celle des bactéries. L'inactivation des virus impose en effet de très fortes doses d'UV pour que la désinfection soit efficace. Dans ces conditions, si l'eau est susceptible de contenir une charge virale permanente, il faut alors systématiquement SUR-DIMENSIONNER le stérilisateur de manière à imposer la dose massive d'UV nécessaire. Une très légère chloration secondaire (... à l'UV) peut aussi résoudre ce problème de résistance des virus au traitement UV.

CLASSES DE SYSTÈMES DE TRAITEMENT UV

Par définition, une DOSE de rayonnement UV est égale à l'intensité du rayonnement multipliée par la durée d'exposition. Elle est exprimée en milliwatts seconde par centimètre carré (**mW.sec/cm²**) ou bien en microwatts seconde par centimètre carré (**µW.sec/cm²**) ... un simple facteur 1000 existant entre ces deux unités de mesure. L'intensité du rayonnement UV et la durée d'exposition s'influencent mutuellement de façon inversement proportionnelle : Ainsi, une brève durée d'exposition sous une forte intensité sera aussi efficace qu'une longue durée d'exposition sous une faible intensité, à condition que le produit de l'intensité par la durée d'exposition soit le même.

Deux classifications différentes des systèmes de traitement UV sont utilisées dans la norme internationale 55 de l'ANSI/NSF - "Ultraviolet Microbiological Water Treatment Systems intended for point of use (POU)/ point of entry (POE) systems" :

- **Systèmes-UV de classe-A** – Ces systèmes fournissent une dose de 40 000 µW.s/cm² (40 mW.sec/cm²). Ils sont conçus pour INACTIVER (>effet bactériostatique) et (ou) ÉRADICUER (>effet bactéricide) les micro-organismes, y compris les bactéries, les parasites et les virus présents dans une eau contaminée afin de ramener leur concentration à un niveau non dangereux pour une consommation humaine ou animale. Les systèmes de classe-A peuvent être utilisés comme systèmes de désinfection de l'eau domestique, et être installés au point d'entrée ou au point d'utilisation des réseaux d'alimentation en eau privés, à condition que la qualité de l'eau à traiter soit acceptable et que soient mis en place des systèmes de prétraitements adéquats.

Le prétraitement et la filtration de la source d'eau brute sont des étapes initiales obligatoires (c.-à-d. avant l'installation d'un dispositif de traitement UV de classe-A) dans le cas de toutes sources d'approvisionnement d'eau de surface, des eaux souterraines sous l'influence directe d'eau de surface ou de toute autre source d'eau souterraine dont la qualité est médiocre.

- **Systèmes-UV de classe-B** – Ces systèmes fournissent une dose de 16 000 µW.s/cm² (16 mW.sec/cm²). Ils sont conçus pour un traitement de désinfection supplémentaire de l'eau potable publique traitée et désinfectée ou d'une autre source d'eau potable qui a été testée et jugée acceptable pour la consommation humaine par les autorités locales. Ces systèmes sont conçus pour réduire uniquement la concentration des micro-organismes NON-PATHOGÈNES ou indésirables normalement présents dans l'eau. Les systèmes de classe-B ne doivent pas être utilisés dans les systèmes à usage résidentiel ou dans les petits systèmes servant à l'alimentation en eau privée. Ces systèmes de classe-B ne sont pas conçus pour éradiquer les micro-organismes pathogènes.

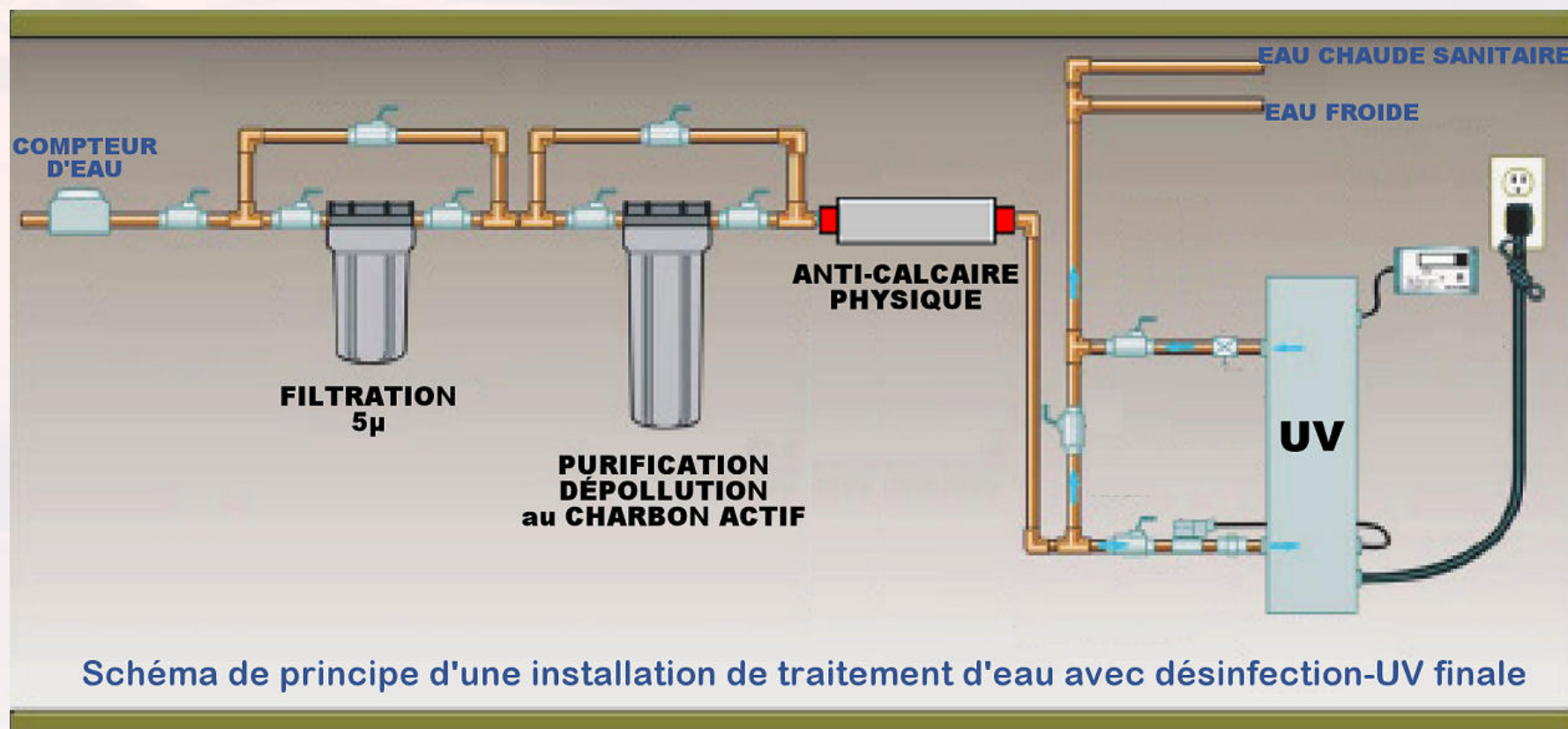
La certification aux normes de la NSF assure que l'appareil de traitement UV est construit conformément aux normes industrielles couramment reconnues et qu'il a été testé comme il convient.

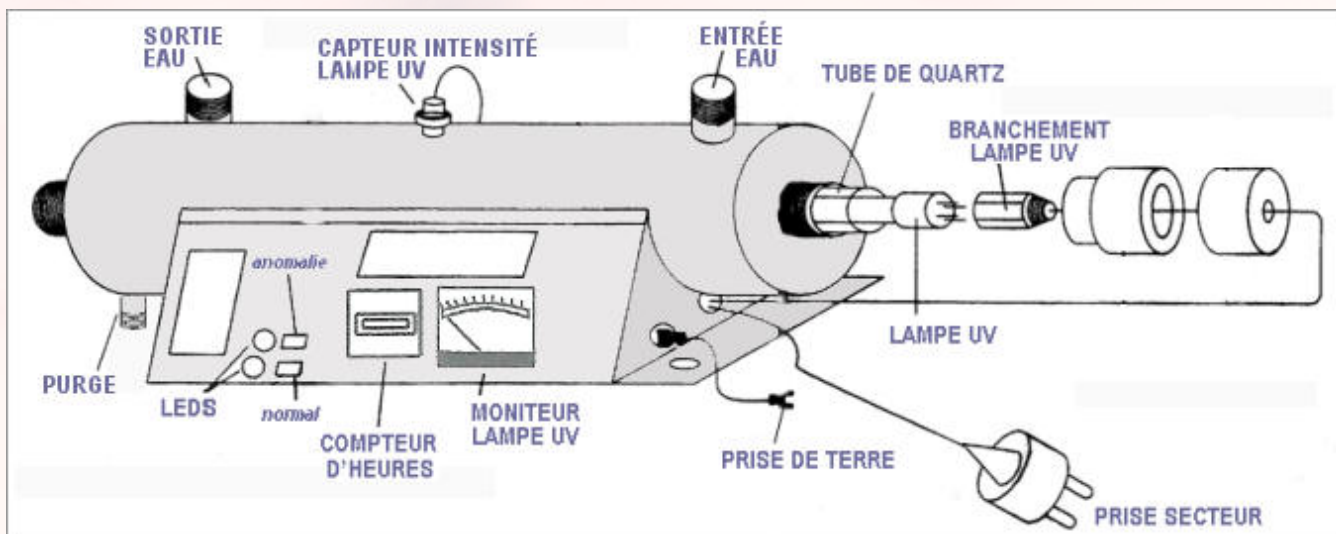
BIEN DIMENSIONNER ET INSTALLER UN SYSTÈME DE TRAITEMENT UV

Dimensionnement

La détermination de la capacité correcte d'un système de traitement UV est basée principalement sur les variables suivantes :

- Le **DÉBIT D'EAU INSTANTANÉ MAXIMAL** (... ou débit d'exploitation) qu'il doit prendre en charge. Pour un habitat individuel, il est possible d'estimer ce débit de crête en comptant le nombre de douches pouvant débiter simultanément, en sachant qu'une douche classique (sans dispositif d'économie d'eau particulier) peut débiter entre 15 à 20 Litres/minute, soient entre 0,9 à 1,2 m³/h. Pour toutes autres applications, il faut évidemment estimer ce débit de crête au mieux en fonction de l'usage de l'eau et des habitudes de consommation.
- Le **NIVEAU DE POLLUTION BACTÉRIOLOGIQUE** de l'eau et les **TYPES DE SOUCHES BACTÉRIENNES** présentes, certaines bactéries étant plus difficiles à éradiquer que d'autres.
(>> Voir le tableau des micro-organismes en fin de document)
- La prise en compte du **TYPE DE CAPTAGE DE L'EAU** (forage profond, puits de surface, eau de source, eau de rivière, eau de pluie, etc...) pour estimer au mieux les variations saisonnières (ou autres) du niveau de contamination. Des pics bactériologiques saisonniers sont toujours inévitables dans les eaux de captage, d'autant plus si ces captages sont peu profonds et soumis aux eaux de surface en fonction des précipitations. Le stérilisateur-UV doit pouvoir prendre en charge sérieusement ces variations de contamination pour garantir en permanence une désinfection efficace et sans risques sanitaires de consommation.





UTILISER ET ENTREtenir UN SYSTÈME DE TRAITEMENT UV

L'entretien global d'un stérilisateur-UV est très facile et demande peu de temps : La maintenance se limite généralement à un entretien annuel de contrôle et de remplacement de la lampe-UV.

- **Remplacement de la lampe-UV :** La puissance radiatrice d'une lampe-UV **DIMINUE AVEC LE TEMPS**.

L'arc électrique qui ionise les vapeurs de mercure baisse en intensité (>phénomène d'usure des filaments d'amorçage de cet arc électrique) et le tube de lampe va tendre à devenir opaque (>effet de solarisation du tube). Le rayonnement UV va ainsi perdre peu à peu en efficacité au cours du vieillissement de la lampe et elle n'offre alors plus ses caractéristiques de puissance initiale.

Ainsi, par construction, une lampe-UV est donnée pour une DURÉE DE VIE MAXIMALE de 8500 à 9000 heures en fonctionnement 24h/24, ce qui correspond approximativement à 1 an de fonctionnement. Au delà, et même si la lampe continue à s'allumer, elle ne garantit plus la pleine efficacité de la stérilisation de l'eau.

- **Le Compteur d'Heures :** La grande majorité des stérilisateur-UV intègrent un compteur d'heure en temps cumulé pour assurer facilement cette maintenance de la lampe-UV. D'un remplacement à l'autre de celle-ci, il suffit donc de noter le nombre d'heures de fonctionnement affiché.

- **Le Moniteur d'intensité de la lampe-UV :** Sur certains modèles de stérilisateur, la chambre de traitement a été percée et taraudée pour y installer un CAPTEUR DE RADIATION UV-C relié à un MONITEUR D'INTENSITÉ à aiguille installé en façade du stérilisateur. Cet équipement affiche donc en permanence l'intensité du rayonnement UV mesuré directement dans la chambre de traitement et il permet ainsi une maintenance de la lampe beaucoup plus précise dans le temps. Il faut ici considérer le remplacement impératif de la lampe dès qu'une perte de rendement d'au moins 50% est affiché sur le moniteur.

- **Fonctionnement d'une lampe-UV :** Un système de traitement UV est conçu pour fonctionner **24h/24** !

Les extinctions/rallumages intempestifs du système fatiguent prématurément les lampes-UV et leur ballast d'amorçage ! Il est par exemple fortement DÉCONSEILLÉ D'ÉTEINDRE LE SYSTÈME CHAQUE NUIT !

- De plus, à l'allumage, une lampe-UV met environ 15 à 20 minutes à atteindre sa bonne température de rendement optimal : Il est donc capital de la laisser en permanence allumée pour qu'elle puisse satisfaire à un tirage d'eau immédiat.

- **Usage saisonnier ou périodique d'un stérilisateur-UV :** Bien entendu, en cas d'absence prolongée, il est par contre conseillé d'éteindre le système, de le débrancher de son alimentation électrique et de le purger de son eau. À la remise en route de l'appareil, il faudra simplement le remettre en eau, le rebrancher électriquement et bien veiller à LAISSER LA LAMPE CHAUFFER un bon quart-d'heure AVANT l'intervention d'un premier tirage d'eau sur le réseau.

- **Entretien du tube en quartz de protection de lampe :** Il est conseillé de profiter de l'opération de changement de la lampe-UV pour contrôler l'état de son tube en quartz de protection. Il faut vérifier son état de propreté et impérativement le nettoyer s'il comporte des salissures (>dépôts de limons, de tartre, etc...) Un trempage prolongé dans une solution fortement vinaigrée au vinaigre blanc ménager permettra de nettoyer facilement ces souillures, mais attention : CES TUBES EN QUARTZ PUR SONT TRÈS FRAGILES et ils doivent donc être maniés avec la plus extrême précaution !



TABLEAU DES MICRO-ORGANISMES STÉRILISÉS PAR LES ULTRA-VIOLETS

• DOSES D'EXPOSITION NÉCESSAIRES •

➡ L'effet désinfectant des UV-c qu'il faut obtenir dans une situation bien précise est déterminé par le micro-organisme et par la dose de rayonnement UV à lui appliquer. Une dose de rayonnement est le produit de l'intensité de la lampe (puissance) multipliée par la durée de l'exposition (capacité d'écoulement) : Elle s'exprime en **milliwatts.sec/cm²**.

• L'intensité de la lampe et la durée d'exposition s'influencent mutuellement de façon inversement proportionnelle : Une dose de 10 mW.s/cm² peut être obtenue par une intensité de 2 mW /cm² durant 5 secondes (>débit d'écoulement lent) ou par 5 mW /cm² pendant 2 secondes (>vitesse d'eau plus rapide).

Organismes	Dose UV pour réduction de 90% (mW s/cm ²)	Dose UV pour réduction de 99,9% (mW s/cm ²)	Organismes	Dose UV pour réduction de 90% (mW s/cm ²)	Dose UV pour réduction de 99,9% (mW s/cm ²)
Bactéries / Virus			Bactéries / Virus		
Aeromonas	4,5	13,5	Staphylococcus aureus	4,9	14,8
Bacteria coli (air)	0,7	2,1	Streptococcus hemolyticus	2,2	6,6
Bacteria coli (eau)	5,4	16,2	Streptococcus lactis	6,1	18,0
Bacillus anthracis	4,5	16,2	Streptococcus viridans	2,0	6,0
S. enteritidis	4,0	12,0	Clostridium tetani	13,0	39,0
B. megatherium sp (veg.)	1,3	3,9	Leptospira Spp.	3,2	9,6
B. megatherium sp (spores)	2,8	8,0	Influenza	3,4	10,2
B. Paratyphosus	3,2	9,6	Poliovirus / poliomyelitis	6,5	19,5
B. Subtilis	7,1	21,3	Tobacco mosaic	240,0	720,0
B. Subtilis (spores)	12,0	36,0	Virus hepatitis	8,0	24,0
B. prodigiosus	0,7	2,1	Levures		
B. pyocyaneus	4,4	13,2	Saccharomyces ellipsoideus	6,0	18,0
Corynebacterium diptheriae	3,4	10,0	Saccharomyces sp.	8,0	24,0
Eberthella typhosa	2,1	6,3	Saccharomyces cerevisiae	6,0	18,0
Escherichia coli	3,0	9,0	Saccharomyces turpidans	9,0	27,0
Micrococcus candidus	6,3	19,0	Brewer's yeast	3,3	9,9
Micrococcus sphaeroides	10,0	30,0	Baker's yeast	3,9	11,7
Micrococcus piltonensis	8,1	24,0	Torula sphaerica	2,3	
Mycobacterium tuberculi	10,0	30,0	Champignons		
Vibrio comma	6,5	19,5	Penicillium roqueforti	13,0	39,0
Legionellosis pneumophila	12,0	36,0	Penicillium expansum	13,0	39,0
Neisseria catarrhalis	4,4	13,0	Penicillium digitatum	44,0	132,0
Phytomonas tumefaciens	4,4	13,0	Penicillium chrysogenum	50,0	150,0
Proteus vulgaris	2,7	7,8	Aspergillus glaucus	44,0	132,0
Pseudomonas aeruginosa	5,5	16,5	Aspergillus flavus	60,0	180,0
Pseudomonas fluorescens	3,5	10,5	Aspergillus niger	132,0	396,0
S. thyphimurium	8,0	24,0	Aspergillus amstelodami	66,7	200,1
S. paratyphi	6,2	18,6	Rhizopus migrans	111,0	333,0
S. typhosa	2,2	6,6	Mucor racemosus A	17,0	51,0
S. typhi	4,1	12,3	Mucor racemosus B	17,0	51,0
Sarcina lutea	19,8	59,0	Oospora lactis	5,0	15,0
Serratia marcescens	2,5	7,2	Cladosporium herbarum	60,0	180,0
Shigella pradyenteriae	1,7	5,2	Mucor mucedo	65,0	195,0
Shigella flexneri	1,7	5,2	Scopulariopsis brevicaulis	80,0	240,0
Shigella dysenteriae	2,2	6,6	Algues		
Spirillum rubrum	4,4	13,0	Groene algae	360-600	
Staphylococcus albus	3,3	10,0	Blauwe algae	360-600	
			Diatomeen	360-600	
			Protozoaires		
			Paramecium	65-100	
			Formes		
			Nematode eieren	40,0	