

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE
DIRECTION DE L'AMÉNAGEMENT

SERVICE DE LA MISE EN VALEUR, DE L'HYDRAULIQUE
ET DU DÉVELOPPEMENT RURAL

BUREAU DES SERVICES PUBLICS RURAUX
19, Avenue du Maine 75732 PARIS Cédex 15

DOCUMENTATION TECHNIQUE

F.N.D.A.E.

(Fonds National pour le Développement
des Adductions d'Eau Rurales)

N° 2

Définition des caractéristiques techniques de fonctionnement et domaine d'emploi des appareils de désinfection

Manuel Pratique



SAUNIER EAU ET ENVIRONNEMENT

2, rue des Glénans - Z.A. — 35760 ST GRÉGOIRE - Tél. 99 68 97 97

FÉVRIER 1986

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.

1. LES PRINCIPES FONDAMENTAUX DE LA DESINFECTION.	3
1.1. <u>LA CHLORATION.</u>	3
1.2. <u>LE RAYONNEMENT ULTRAVIOLET.</u>	4
2. LES PRINCIPALES CONFIGURATIONS DES RESEAUX DE DISTRIBUTION.	7
2.1. <u>GENERALITES.</u>	7
2.2. <u>INSTALLATIONS EQUIPEES D'UN POSTE DE POMPAGE.</u>	7
2.3. <u>INSTALLATIONS NON EQUIPEES D'UN POSTE DE POMPAGE.</u>	8
2.4. <u>REMARQUES.</u>	8
3. MISE EN OEUVRE DE LA DESINFECTION.	10
3.1. <u>DESINFECTION AU CHLORE GAZEUX.</u>	10
3.1.1. <u>Matériels de base.</u>	10
3.1.2. <u>Schémas types d'installation.</u>	13
3.1.3. <u>Cas particulier : chloration d'un débit d'eau variable.</u>	18
3.1.4. <u>Avantages et inconvénients de la chloration au chlore gazeux.</u>	20
3.2. <u>DESINFECTION A L'EAU DE JAVEL.</u>	23
3.2.1. <u>Matériels de base.</u>	23
3.2.2. <u>Application à la chloration d'un débit constant.</u>	25
3.2.3. <u>Chloration à débit variable.</u>	25
3.2.4. <u>Remarques concernant l'utilisation des pompes doseuses et les compteurs à impulsion.</u>	26
3.2.5. <u>Avantages et inconvénients de la chloration à l'eau de javel.</u>	26
3.3. <u>LA DESINFECTION PAR RAYONNEMENT ULTRA-VIOLET.</u>	29
3.3.1. <u>Matériels de base.</u>	29
3.3.2. <u>Matériels complémentaires.</u>	30
3.3.3. <u>Mise en oeuvre de la désinfection aux UV.</u>	30
3.3.4. <u>Avantages et inconvénients de la désinfection aux UV.</u>	32

4.	MAINTENANCE DU MATERIEL.	35
4.1.	<u>DESINFECTION AU CHLORE GAZEUX.</u>	35
4.1.1.	Règles de sécurité.	35
4.1.2.	Principales causes d'incident ; remèdes et préventions.	36
4.2.	<u>DESINFECTION A L'EAU DE JAVEL.</u>	38
4.2.1.	Préparation des solutions diluées d'eau de javel.	38
4.2.2.	Surveillance du circuit d'injection.	38
4.3.	<u>DESINFECTION AUX U.V.</u>	38
4.4.	<u>REMARQUE CONCERNANT LE TEMPS A CONSACRER A LA MAINTENANCE.</u>	39
5.	MATERIELS PROPOSES PAR LES CONSTRUCTEURS/COUTS.	40
5.1.	<u>GENERALITES.</u>	40
5.2.	<u>CHLORATION AU CHLORE GAZEUX.</u>	40
5.2.1.	Matériels de base.	40
5.2.2.	Matériels complémentaires.	42
5.2.3.	Autres matériels.	42
5.3.	<u>CHLORATION A L'EAU DE JAVEL.</u>	44
5.3.1.	Matériels de base.	44
5.3.2.	Matériels complémentaires.	44
5.3.3.	Remarques.	44
5.3.4.	Matériels développés pour l'injection d'eau de javel en l'absence d'électricité.	45
5.4.	<u>DESINFECTION PAR RAYONNEMENT U.V.</u>	46
5.5.	<u>REMARQUES.</u>	54
6.	COUT D'EXPLOITATION.	55
6.1.	<u>MAIN D'OEUVRE.</u>	55
6.2.	<u>COUT EN REACTIFS.</u>	56
6.2.1.	Désinfection par chloration.	56
6.2.2.	Désinfection aux U.V..	58
6.3.	<u>ENERGIE ELECTRIQUE.</u>	58
6.3.1.	Désinfection par chloration.	58
6.3.2.	Désinfection par rayonnement U.V.	58

6.4.	<u>RENOUVELLEMENT DU MATERIEL.</u>	59
6.4.1.	Désinfection par chloration.	59
6.4.2.	Désinfection aux UV.	59
6.5.	<u>REMARQUE SUR LES COUTS D'EXPLOITATION.</u>	60
7.	<u>CHOIX D'UN SYSTEME DE DESINFECTION - CONCLUSION.</u>	61

ANNEXE

-----O-----

AVANT-PROPOS

L'alimentation en eau potable de petites collectivités, de groupes d'habitations, de hameaux... est bien souvent réalisée à partir d'eaux de forage, de captage ou de source, et la qualité naturelle de ces eaux permet de limiter souvent le traitement à une simple désinfection. S'agissant de petits réseaux de distribution, desservant quelques dizaines à quelques centaines d'abonnés, les moyens à mettre en oeuvre au niveau de la désinfection doivent tenir compte, en plus des contraintes techniques spécifiques au but recherché (élimination des germes), de la capacité d'investissement limitée de ces collectivités, et des contraintes de maintenance qu'implique tout système de traitement.

A l'heure actuelle, le recensement des modes de désinfection mis en oeuvre sur les petits réseaux de distribution montre que, pour une très large majorité des installations, la désinfection est réalisée ou bien par chloration, (chlore gazeux ou eau de javel) ou bien par rayonnement ultraviolet (rayons UV) ; la première technique l'emporte d'ailleurs largement sur la seconde. Il existe bien quelques désinfections à l'ozone ou au bioxyde de chlore, mais ces réalisations restent ponctuelles, en raison notamment de leurs plus grandes technicités, et de leurs coûts d'investissement.

Dans les années à venir, il est peu probable que cette situation évolue sensiblement ; la chloration et le traitement aux UV resteront les modes de désinfection de choix pour les réseaux de faible importance.

Sur le plan de l'efficacité, c'est-à-dire de l'aptitude de la chloration ou du rayonnement UV à l'obtention d'une eau bactériologiquement potable, les preuves ne sont plus à faire. Ceci étant, une récente enquête de la Direction Générale de la Santé a mis en évidence que de nombreux petits réseaux, équipés d'un poste de désinfection, ne délivraient pas systématiquement une eau bactériologiquement potable, cet état de fait apparaissant lors des contrôles périodiques de la D.D.A.S.S.

Ce manuel pratique a donc pour objet de faire le point sur les deux techniques de désinfection que sont la chloration et le rayonnement UV, et d'en définir à la fois les conditions optimales de mise en oeuvre et les limites d'utilisation. Il a en outre pour objectif d'en présenter les coûts d'investissement et d'exploitation de manière à guider le décideur dans le choix de telle ou telle technique.

Il importe pour conclure cet avant propos de souligner que le bon fonctionnement d'un système de désinfection, quel que soit son degré de simplicité ou d'automatisation, requiert de la part de l'exploitant une maintenance minimum. Force est de constater, après visite de plusieurs unités de traitement, que nombre d'entre elles sont pratiquement laissées à l'abandon, alors même que le dispositif de désinfection en place paraît adapté ; les causes en sont diverses, mais il s'agit bien souvent de simple négligence, d'absence d'instructions au personnel...

On ne saurait donc trop insister sur la nécessité d'une réelle exploitation des matériels en place, et pour chaque technique développée, il sera consacré un commentaire sur la maintenance minimale à prévoir.

+
+ +

1. LES PRINCIPES FONDAMENTAUX DE LA DESINFECTION.

1.1. LA CHLORATION.

Un traitement de chloration consiste à injecter dans l'eau brute d'un captage ou d'un forage, une certaine quantité de chlore dont l'évolution dépend de la composition physicochimique de cette eau. Le chlore va tout d'abord réagir avec les substances dites oxydables, et la fraction de chlore ayant réagi avec elles, est totalement détruite. Si le chlore a été ajouté en quantité suffisante, et si l'eau brute contient des traces d'azote ammoniacal, une fraction du chlore restant va réagir avec cet azote pour former des chloramines, qui, bien que possédant un certain pouvoir désinfectant, ne sont pas suffisamment puissantes pour assurer une désinfection efficace. Lorsque tout l'azote ammoniacal a réagi, et si le chlore a été ajouté en quantité supérieure à la consommation due aux substances oxydables et à l'azote ammoniacal, l'excès de chlore (que l'on appelle "chlore libre") est disponible pour assurer la désinfection, c'est-à-dire la destruction des germes contenus dans l'eau brute.

La chloration consiste donc à injecter une quantité suffisante de chlore pour maintenir une concentration résiduelle de chlore libre dans l'eau distribuée.

Remarque 1

La concentration résiduelle de chlore libre à maintenir doit être comprise entre 0,2 et 0,5 mg/l. La mesure de cette concentration est facile, rapide et peu coûteuse ; il s'agit d'une mesure colorimétrique qui nécessite l'acquisition d'un comparateur, de deux cuves de 10 ml, d'un disque étalon et de pastilles de réactifs (cf. 5.2.2.). Une pastille de réactif (DPD n° 1) est dissoute dans une première cuve ; en présence de chlore libre, l'eau prend une coloration rose dont l'intensité est fonction de la concentration en chlore libre. Les deux cuves sont introduites dans le comparateur, la seconde contenant la même eau sans réactif. Il suffit

alors de tourner le disque - étalon jusqu'à obtention d'une même intensité de rose, et de lire sur le disque la concentration correspondante en chlore libre. L'ensemble de la mesure prend moins de 5 minutes;

Pour parvenir à une concentration de 0,2 à 0,5 mg/l la dose de chlore à injecter varie en fonction de la qualité de l'eau brute. Elle se situera entre 0,5 et 1 mg/l (g/m^3) pour une eau de bonne qualité, jusqu'à 2 mg/l (g/m^3) en cas d'eau de médiocre qualité (mais potable sur le plan physicochimique).

Remarque 2

Le pouvoir désinfectant du chlore libre est fonction du pH de l'eau brute, l'efficacité maximale correspondant aux bas pH (6,5 - 7) et diminuant légèrement lorsque le pH augmente. En fait l'expérience a montré que l'on était assuré d'une excellente désinfection (même aux pH les plus élevés jusqu'à 8,5) lorsque le temps de contact "eau - chlore" est supérieur à 15 mn.

Une chloration sera donc d'autant plus efficace que le réservoir ou le réseau assureront un tel temps de contact.

Enfin, le résiduel de chlore libre sera mesuré aux extrémités du réseau ; on prend ainsi en compte le fait que le réseau lui-même peut consommer du chlore libre (conduites plus ou moins encrassées) et ce d'autant plus que l'eau distribuée y séjourne plus longtemps.

Remarque 3

La chloration est réalisable bien entendu à partir de chlore gazeux ou d'eau de javel. Cet aspect sera abordé au chapitre 3.

1.2. LE RAYONNEMENT ULTRAVIOLET.

A la différence de la désinfection par le chlore (chlore gazeux ou eau de javel) qui correspond à une destruction chimique des cellules bactériennes, les ultraviolets constituent un procédé purement physique, en ce sens qu'aucun produit n'est ajouté à l'eau.

Une lampe à UV (quel qu'en soit le constructeur) est constituée d'un tube de quartz contenant un gaz inerte légèrement chargé en vapeur de mercure, et pourvu à chaque extrémité d'une électrode. Le passage d'un courant électrique se traduit par l'excitation des atomes de mercure, lesquels émettent en retour un

rayonnement dont la bande spectrale est comprise entre 240 et 270 nm (1). Le maximum d'intensité correspond à une longueur d'onde de 253,7 nm. Aujourd'hui, les lampes à UV sont de type "basse pression", et fonctionnent à faible température : 40 - 50 °C. (A noter qu'il ne s'agit pas de la température de l'eau mais de celle de l'appareil).

L'action germicide des UV correspond en fait à l'inactivation des acides nucléiques des noyaux cellulaires : les acides nucléiques (de même que l'ADN et l'ARN) possèdent en effet un spectre d'absorption dont l'intensité maximum se situe entre 250 et 260 nm. Tout rayonnement de longueur d'onde adaptée conduit donc à détruire les composés correspondants.

Schématiquement, un dispositif de désinfection aux ultraviolets est constitué d'une chambre au travers de laquelle s'écoule l'eau à traiter et dans laquelle sont immergées les lampes UV.

En théorie, la qualité de la désinfection est indépendante de la qualité physico-chimique de l'eau à traiter, mais en pratique, il a été démontré que l'efficacité du traitement peut être perturbée si l'eau brute est légèrement colorée ou légèrement turbide (trouble). C'est la raison pour laquelle il est toujours conseillé de placer un filtre en amont d'un tel système, ce filtre ayant pour objet :

- de clarifier l'eau brute,
- d'éviter les dépôts sur les parois de la lampe,
- de réduire la coloration de l'eau.

Remarques importantes

Remarque 1 -

A la différence de la chloration, procédé pour lequel il est nécessaire d'assurer un temps de contact minimum de 15 mn dans le but d'une bonne désinfection, la désinfection aux UV est très rapide et de l'ordre de quelques secondes, (ceci suppose bien sûr que la lampe soit adaptée au débit à traiter).

(1) 1 nm (1 nanomètre) = 10^{-9} = 1 milliardième de mètre

Remarque 2 -

Les ultraviolets n'assurent la désinfection qu'au droit de la lampe ; ceci veut dire qu'à l'aval du traitement, il n'existe plus de pouvoir désinfectant ; c'est la raison pour laquelle, l'eau traitée doit être distribuée aussi rapidement que possible, en d'autres termes que le système de désinfection doit être installé aussi près que possible du premier utilisateur.

Remarque 3 -

Lorsqu'un procédé UV est utilisé, l'exploitant ne possède aucun moyen de contrôle de l'efficacité du système. En effet, seules les analyses de la D.D.A.S.S. sont à même de montrer que l'eau est, ou non, bactériologiquement potable.

+
+ +

2. LES PRINCIPALES CONFIGURATIONS DES RESEAUX DE DISTRIBUTION.

2.1. GENERALITES.

Les conditions d'installation d'un poste de désinfection dépendent directement de la configuration du réseau de distribution.

Très schématiquement, un réseau de distribution peut être défini comme étant constitué :

- d'une source d'eau brute (captage, forage),
- d'un réservoir dont le rôle est d'assurer une réserve tampon,
- des conduites de distribution (conduite(s) maîtresse(s) et branchements).

Selon l'implantation géographique du réseau, la distribution de l'eau peut être réalisée gravitairement ou par voie de pompage. Les différentes configurations sont présentées aux paragraphes suivants.

2.2. INSTALLATIONS EQUIPEES D'UN POSTE DE POMPAGE.

Il s'agit des réseaux de distribution pour lesquels :

- la cote altimétrique de la source est inférieure à celle des points de distribution. Cette situation est fréquente en régions peu accidentées où l'eau brute est souvent une eau de forage ;
- la cote altimétrique de la source est supérieure à celle des points de distribution, mais la charge naturelle (différence des cotes altimétriques) est insuffisante pour assurer une pression convenable dans le réseau.

De tels réseaux sont donc obligatoirement équipés d'une station de pompage qui refoule, ou bien vers un château d'eau, ou bien vers un ballon de surpression. Par conséquent, il existe :

- une source d'énergie électrique à proximité de la station,

- un débit constant mais séquentiel entre le pompage et le réservoir ou le ballon de surpression.

En aval du réservoir ou du dispositif de surpression, le débit est bien entendu variable et fonction de l'utilisation.

2.3. INSTALLATIONS NON EQUIPEES D'UN POSTE DE POMPAGE.

Il s'agit des réseaux de distribution pour lesquels la cote altimétrique de la source est nettement supérieure à celle des points de distribution, la charge entre le réservoir et ces derniers assurant une pression convenable dans le réseau.

Deux cas de figure sont envisageables :

- le cas le plus simple correspond à un réservoir alimenté en continu par la source, le surdébit de la source s'écoulant par trop plein ;
- le second cas correspond à un réservoir alimenté séquentiellement par l'intermédiaire d'une vanne à flotteur à ouverture rapide.

Dans les deux cas, il n'est pas nécessaire qu'il existe à priori une source d'énergie électrique à proximité du réservoir.

Pour ce qui a trait aux variations de débit, il est clair :

- qu'il n'existe pas de débit constant, ni à l'amont ni à l'aval d'un réservoir alimenté en trop-plein ;
- qu'un réservoir alimenté par l'intermédiaire d'une vanne à flotteur à ouverture rapide équivaut à un réservoir alimenté par pompage : le débit de remplissage est sensiblement constant, tant que la vanne est en position "ouverte".

2.4. REMARQUES.

Les configurations de base évoquées aux paragraphes précédents s'appliquent aux réseaux les plus simples. Des combinaisons sont évidemment possibles, notamment en régions montagneuses, où à partir d'une même source, il peut être possible d'alimenter gravitairement un hameau, mais où d'autres points de distribution nécessitent une surpression intermédiaire.

Par ailleurs, en régions de plaines ou de montagnes, un même forage peut alimenter différents groupes d'utilisateurs, avec pour chacun d'eux une conduite maîtresse d'alimentation.

+
+ +

3. MISE EN OEUVRE DE LA DESINFECTION.

3.1. DESINFECTION AU CHLORE GAZEUX.

3.1.1. **Matériels de base.**

La mise en oeuvre d'une désinfection au chlore gazeux requiert au minimum :

- le dispositif de stockage du chlore,
- le chloromètre,
- l'hydroéjecteur.

Le schéma général de l'installation est donné à la figure 1, et la fonction de chaque élément est indiquée ci-dessous.

3.1.1.1. Stockage du chlore.

Le chlore est livré en bouteille d'acier de capacité utile égale à 50 kg ; à la température ambiante et à la pression atmosphérique, le chlore livré en bouteille est partiellement liquéfié et maintenu sous une pression de 6 bars. Les conditions de stockage et les précautions à prendre lors de la manipulation des bouteilles feront l'objet d'un paragraphe particulier.

Le débit de chlore que l'on peut extraire au maximum d'une bouteille dépend de la température ambiante. En pratique, même aux très basses températures, le débit maximal d'extraction reste confortable : une bouteille peut encore fournir 75 grammes/heure de chlore à - 29 °C, ce qui correspond à un taux de traitement de 1,5 g/m³ au débit de 50 m³/h.

3.1.1.2. Chloromètre.

C'est un matériel qui se fixe en général directement sur la bouteille et qui se compose :

- d'un filtre à chlore,

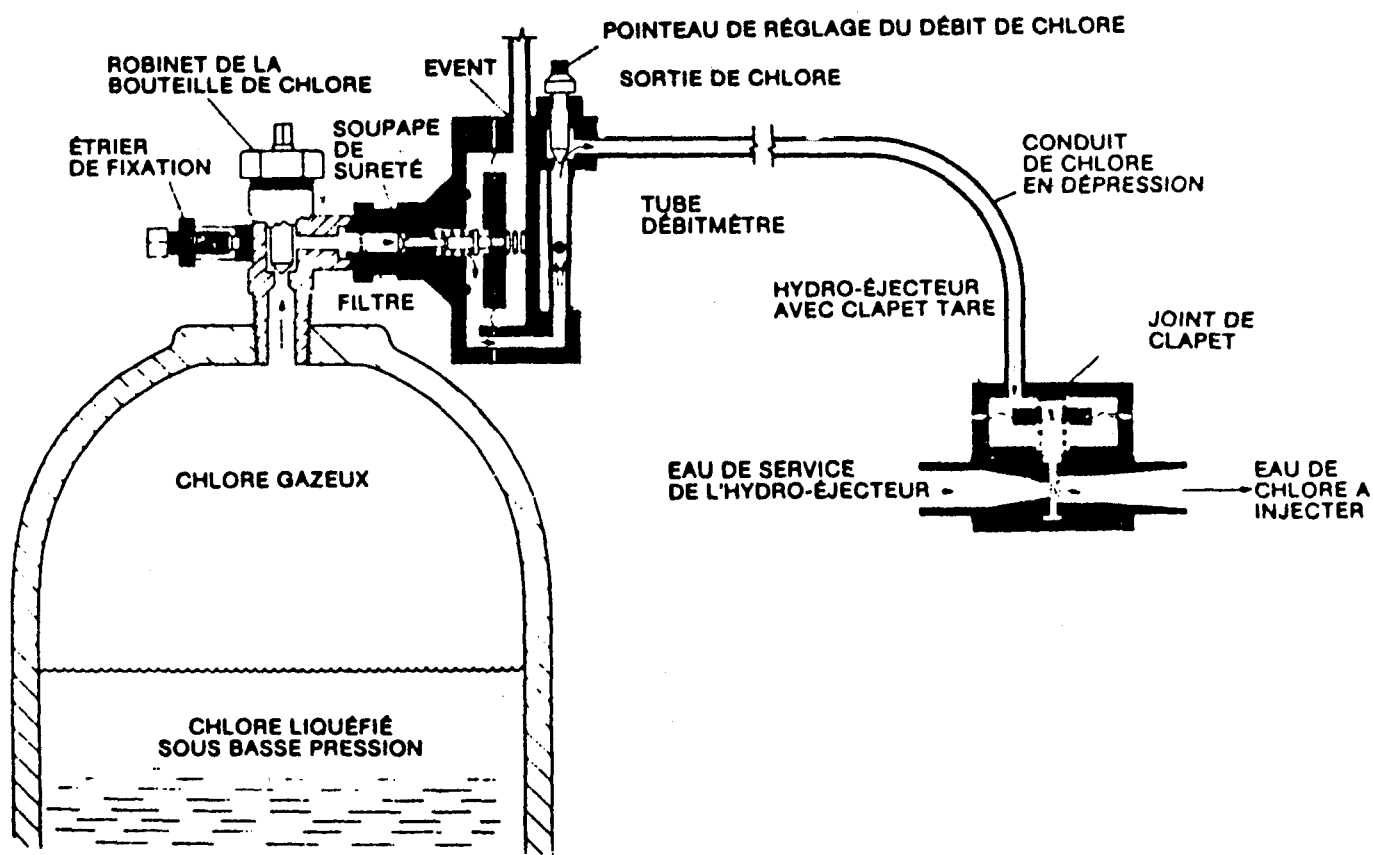


Figure 1 : Bouteille de chlore - hydroéjecteur et chloromètre
(document CIFEC)

- d'un débitmètre,
- d'un bouton de réglage du débit de chlore,
- d'une chambre de régulation,
- d'un événement de sécurité.

Tous les chloromètres modernes sont des chloromètres à dépression, à l'exception d'un seul modèle dont il sera fait état ultérieurement. Dans ces appareils, tout le circuit situé en aval est en dépression et le chlore est aspiré par l'hydroéjecteur et non refoulé sous pression. Ainsi, en cas de rupture de la conduite de chlore reliant le chloromètre à l'hydroéjecteur, le chlore refoule vers le chloromètre et ne peut en aucune façon s'échapper dans le local.

A noter, que l'événement de sécurité doit être impérativement dirigé vers l'extérieur du local. Cette précaution élémentaire n'est pas toujours respectée.

Dans le cas le plus simple, où la bouteille de chlore n'est utilisée que pour une direction de chloration, le chloromètre est associé au débitmètre. Il s'agit d'un tube de verre gradué en grammes/heure de chlore, dans lequel se déplace une petite bille. Le réglage se fait par simple manipulation d'un bouton. A noter que chaque constructeur propose des débitmètres de différents calibres. Il importe de choisir le débitmètre le mieux adapté au débit probable de chlore à doser, le débit minimum fiable étant égal à 5 % du débit maximal du débitmètre.

Dans le cas où une même bouteille de chlore doit servir à plusieurs directions de chloration, le débitmètre principal n'est plus utile (mais peut être conservé) et chaque direction possède son propre débitmètre avec réglage indépendant.

3.1.1.3. L'hydroéjecteur.

L'hydroéjecteur fonctionne sur le principe du Venturi (cône convergent puis divergent) : il est traversé par un débit d'eau (appelée eau motrice) pris en général en dérivation sur le débit à traiter ; l'hydroéjecteur assure la double fonction d'aspirer le chlore gazeux (aval du chloromètre) et de le mélanger à l'eau motrice pour former une eau de chlore qui est injectée selon les cas dans le réservoir ou dans la conduite d'eau à traiter. L'hydroéjecteur possède un clapet antiretour sur la conduite de chlore gazeux de manière à éviter la remontée d'eau motrice, lors de l'arrêt de l'installation.

Le choix de l'hydroéjecteur dépend à la fois de la contre pression au point

d'injection de l'eau de chlore et du débit de chlore à injecter. En outre, la pression d'alimentation en eau motrice est fonction de la contre pression ; en cas de contre pression nulle (injection d'eau de chlore dans un réservoir) la pression d'eau de service doit être au minimum de 0,8 bar. Si la pression de l'eau de service est naturellement insuffisante, l'hydroéjecteur doit être équipé de la pompe de surpression correspondante.

Dans tous les cas, les notices "constructeur" sont largement détaillées, le constructeur étant lui-même le mieux placé pour définir le type d'hydroéjecteur qui convient.

3.1.2. Schémas types d'installation.

Les trois configurations de base sont celles correspondants à :

- une chloration en pied de forage,
- une chloration en conduite sous pression,
- une chloration en tête de réseau gravitaire, dans le réservoir de tête.

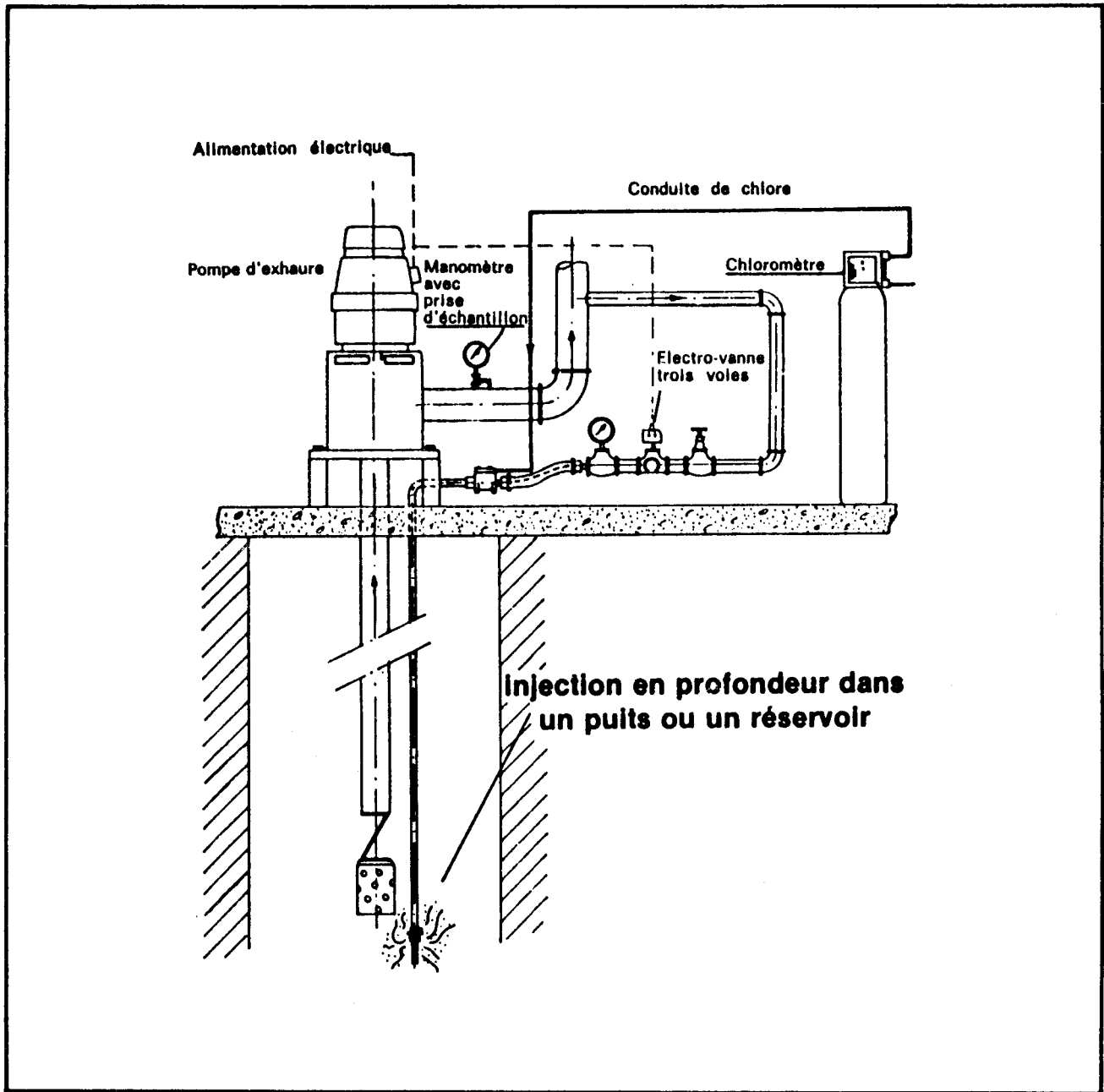
3.1.2.1. Chloration en pied de forage (figure 2).

Dans cette configuration, l'eau motrice provient d'un piquage réalisé sur la conduite de refoulement de la pompe d'exhaure. Le circuit d'eau motrice comporte :

- une vanne manuelle d'isolement,
- un filtre (placé en amont de l'électrovanne et de l'hydroéjecteur),
- éventuellement, un détendeur pour les pressions d'eau motrice supérieures à 4 bars et inférieures à 10 bars,
- un électrovanne asservie au relai de la pompe d'exhaure,
- un manomètre de contrôle de la pression d'eau motrice,
- l'hydroéjecteur.

Comme déjà indiqué, l'hydroéjecteur est calculé en fonction du débit de chlore moyen à injecter et de la contre pression au point d'injection.

L'électrovanne peut être à 2 ou à 3 voies. Dans le cas d'une électrovanne 2 voies, le circuit doit être équipé d'un clapet casse vide entre l'électrovanne et l'hydroéjecteur ; dans le cas d'une électrovanne 3 voies, la 3ème voie est une mise



Figure_2 : Chloration en pied de forage (document CIFEC)

à l'atmosphère et joue le même rôle que le casse-vidé. Cette mise à l'atmosphère du circuit d'eau motrice à l'arrêt de la chloration est essentielle pour protéger l'électrovanne elle-même. En effet, il y a souvent un léger décalage entre l'arrêt de l'eau motrice et la fermeture du clapet sur l'hydroéjecteur. Il se forme alors une poche d'eau chlorée qui peut éventuellement remonter vers l'électrovanne et l'endommager rapidement. La mise à l'atmosphère permet en fait à la colonne d'eau de se vider dans le puits ou le réservoir et d'éviter cet inconvénient.

Par ailleurs, l'installation sera d'autant mieux protégée que l'hydroéjecteur sera installé plus en aval de l'électrovanne, et qu'il se situera plus bas que celle-ci. Il est ainsi conseillé de conserver une distance minimale de 50 cm entre l'électrovanne et l'hydroéjecteur. Il semble enfin, au vu d'installations existantes que l'association d'une électrovanne 2 voies et d'un clapet casse-vidé est plus efficace qu'une électrovanne 3 voies.

3.1.2.2. Injection du chlore gazeux dans une conduite sous pression (figure 3).

Dans ce cas, l'eau motrice est également prise en dérivation sur la conduite de refoulement, mais le circuit d'eau motrice comporte obligatoirement une pompe de surpression en remplacement de l'électrovanne, la pompe étant asservie à la pompe d'exhaure. Deux vannes manuelles sont à prévoir sur l'aspiration et le refoulement de la pompe de surpression. Si l'on veut par ailleurs pouvoir démonter l'hydroéjecteur, sans vider la conduite de refoulement, l'hydroéjecteur doit être couplé avec une vanne "sas". Le circuit d'eau motrice comprend en outre un filtre, un manomètre pour le contrôle de la pression en amont de l'hydroéjecteur.

3.1.2.3. Injection de chlore gazeux dans un bassin de stockage, en tête de réseau gravitaire (figure 4).

Dans ce cas de figure, le bassin de stockage est alimenté gravitairement par la source. La conduite d'alimentation est équipée d'une vanne à flotteur à ouverture, et fermeture rapide. L'eau motrice est prise en dérivation sur la conduite d'alimentation du réservoir et en aval de la vanne à flotteur ; elle traverse un filtre et l'hydroéjecteur. Une vanne manuelle doit permettre de limiter la pression à 0,8 bar.

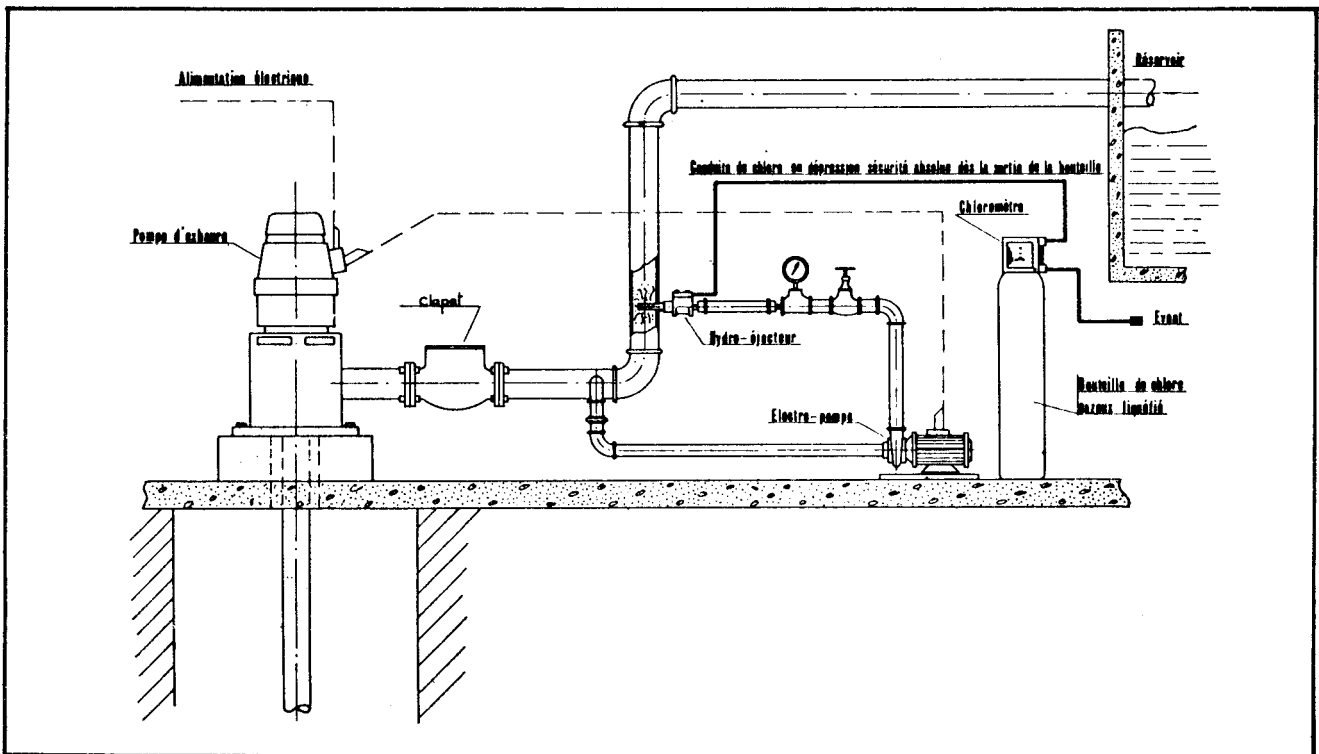
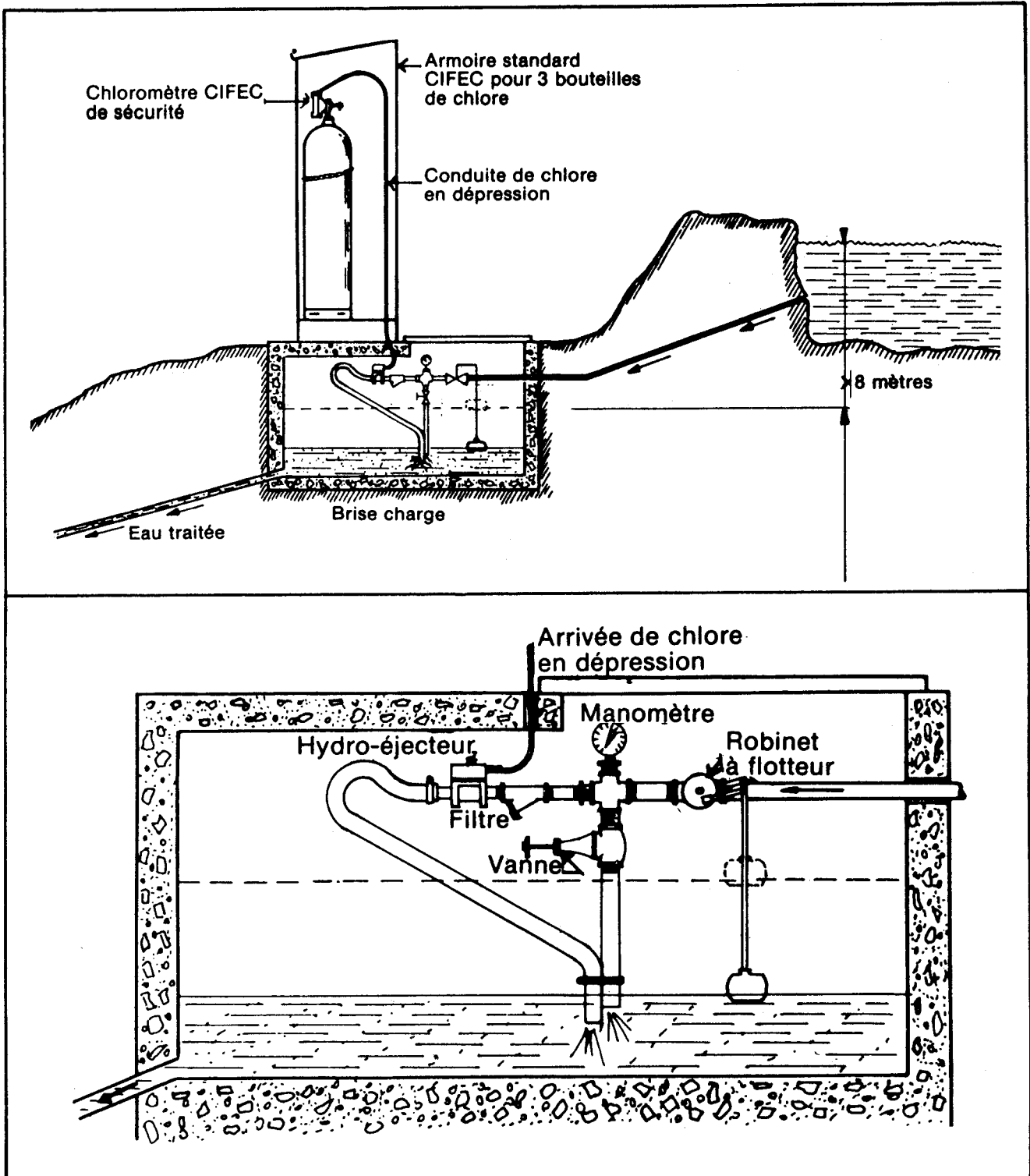


Figure 3 : Chloration sous pression (document CIFEC).



Figure_4 : Chloration sur réseau gravitaire (document CIFEC).

Le fonctionnement de la chloration est tout à fait asservi au débit à traiter puisque la mise en service de l'hydroéjecteur (donc l'aspiration de chlore gazeux) est directement commandée par la vanne à flotteur. On peut d'emblée remarquer que ce système fonctionne en dehors de toute alimentation électrique et qu'il peut convenir à des captages situés loin de toute ligne électrique. La seule contrainte est de disposer naturellement d'au moins 0,8 bar en amont de l'hydroéjecteur, faute de quoi, une pompe de surpression est nécessaire, ainsi que l'alimentation électrique de la pompe.

3.1.2.4. Remarque sur les trois configurations.

Ces configurations ont la particularité de donner lieu à un traitement de chloration à débit constant, et fonctionnent en tout ou rien. Elles sont donc intéressantes dans la mesure, où la dose de chlore à injecter ne dépend que la qualité de l'eau à traiter ; si le forage, ou le captage est par ailleurs de qualité sensiblement constante, les risques de surdosage ou de sous-dosage sont très faibles, dès lors que le préposé a ajusté le taux de traitement en fonction du résiduel de chlore libre qu'il souhaite obtenir en bout de réseau.

Les deux premières configurations sont également applicables si le forage possède plusieurs pompes d'exhaure (de même débit ou de débits différents). A chaque pompe d'exhaure, doit être associée une direction de chloration, c'est-à-dire un hydroéjecteur et une électrovanne (ou une pompe de surpression) ; le fonctionnement de chaque électrovanne ou pompe de surpression est commandé par le relai de la pompe d'exhaure correspondante. Un seul chloromètre est nécessaire, mais chaque direction doit posséder un débitmètre de chlore.

3.1.3. **Cas particulier : chloration d'un débit d'eau variable.**

Il s'agit de la chloration directe sur une conduite de distribution, à l'aval d'un stockage. Sur une telle conduite, le débit est par définition variable, puisqu'il dépend de l'utilisation par les abonnés. Ce schéma est encore fréquent, notamment en zones montagneuses où la source et le stockage sont parfois d'accès très difficile.

La régulation de l'injection de chlore en fonction du débit est donc obligatoire, et s'il existe théoriquement deux possibilités d'envisager la régulation, il n'y en a qu'une seule qui soit financièrement accessible aux petits réseaux de distribution.

La régulation la plus précise, mais qui malheureusement est d'un coût élevé, consiste à placer sur la conduite de distribution, un compteur d'eau délivrant un signal électrique proportionnel au débit instantané mesuré ; sur le circuit de chlore gazeux, on met en place une vanne modulante motorisée à ouverture progressive, qui délivre également un signal électrique.

Les deux signaux sont envoyés sur un coffret de régulation et comparés. En cas d'inégalité, le coffret agit sur l'ouverture de la vanne modulante de chlore, jusqu'à égalité des deux signaux. Cette régulation est strictement proportionnelle, mais, comme déjà indiqué, coûteuse. Elle n'est donc citée que pour mémoire.

Dans le cas des petits réseaux de distribution, la régulation de l'injection est réalisée par l'intermédiaire de compteurs à impulsions. Un compteur à impulsions est un compteur d'eau qui délivre une impulsion électrique à chaque fois qu'un volume d'eau donné a été mesuré (par exemple après écoulement de 2, de 5, de 10 litres). L'impulsion délivrée par le compteur est transmise alors à l'électrovanne ou à la pompe de surpression par l'intermédiaire d'un coffret électrique. Cette impulsion va commander l'ouverture et le temps d'ouverture de l'électrovanne (ou la mise en marche et le temps de fonctionnement de la pompe de surpression). L'eau de chlore est donc injectée en discontinu.

Ce type de régulation est bien entendu moins performante que la régulation strictement proportionnelle. En effet, une injection discontinue se traduit par la progression dans la conduite de distribution, de bouchons d'eau chlorée et de bouchons d'eau non chlorée. La désinfection ne peut donc être efficace :

- que si l'intervalle entre deux impulsions est faible, et dans la mesure du possible, on choisira un compteur autorisant des impulsions tous les 2 à 5 l au maximum ;
- que si le point d'injection du chlore se trouve suffisamment en amont des premiers branchements, ceci dans le double but :
 - . de permettre aux bouchons d'eau chlorée et d'eau non chlorée de se mélanger progressivement donc de favoriser l'homogénéisation du traitement ;
 - . d'assurer un temps de contact suffisant (15 mn) entre le chlore et l'eau traitée,

En pratique, le choix du compteur à impulsions sera guidé par la fréquence des impulsions qu'il peut donner. Ce point, déjà évoqué, n'est pas toujours évident, car en général, un compteur à impulsions ne délivre qu'une seule fréquence d'impulsions ; en outre, plus le débit nominal du compteur est élevé, plus le volume écoulé entre deux impulsions est important.

Par ailleurs, il convient de noter que tous les compteurs (simples ou à impulsions) possèdent un débit minimum en deçà duquel, le volume écoulé n'est pas enregistré. L'inconvénient est immédiat : sur le réseau, en cas de débit de fuite en période nocturne par exemple, la régulation ne fonctionne pas et l'eau n'est plus chlorée.

3.1.4. Avantages et inconvénients de la chloration au chlore gazeux.

3.1.4.1. Avantages.

- autonomie -

Elle est fonction du volume quotidien d'eau à traiter et du taux de traitement moyen à appliquer. Elle est dans tous les cas importante ; le calcul montre par exemple qu'une bouteille de 50 kg de chlore aura une autonomie de :

50 jours pour le traitement de $500 \text{ m}^3/\text{jour}$ à 2 g/m^3 ,
500 jours pour le traitement de $100 \text{ m}^3/\text{jour}$ à 1 g/m^3 .

En outre, l'autonomie peut être doublée en équipant le poste de désinfection de deux bouteilles de chlore reliées à un inverseur automatique. Cet inverseur assure automatiquement le basculement d'une bouteille sur l'autre dès que la première est vide ; le changement de la bouteille vide se fait sans interruption du traitement. Il est par ailleurs à noter que la durée du stockage est sans influence sur l'activité du chlore, et que ses propriétés désinfectantes sont constantes au cours du temps.

- insensibilité au froid -

Le traitement est envisageable même aux très basses températures. La limite du traitement est simplement liée au débit de chlore extractible de la bouteille, et, sauf dans le cas exceptionnel d'un traitement supérieur à 75 g/h en chlore, la

mise en service d'une seule bouteille est suffisante. Dans le cas contraire, il est possible de prévoir deux bouteilles en parallèle sur une même direction d'injection.

-précision du dosage -

La qualité du chlore gazeux est constante au cours du temps et le réglage du taux d'injection se fait par simple rotation d'un bouton situé sur le chloromètre. La lecture du débit et son ajustage sont rapides.

- mise en oeuvre indépendante de la "dureté" de l'eau à traiter -

Cet aspect est indiqué en regard des difficultés liées à l'utilisation d'eau de javel dans le cas d'eaux dures (cf. 3.2.5.2.). Le chlore gazeux peut être employé sur n'importe quel type d'eau (douce ou dure) sans influence sur la maintenance du matériel.

-possibilités de contrôler et de régler le traitement -

C'est un avantage essentiel par rapport aux UV (cf 3.3.4.2.). Le préposé a la possibilité de contrôler à tout moment la teneur résiduelle en chlore libre sur l'eau traitée est d'ajuster le cas échéant le taux de traitement. On rappellera que la présence d'un résiduel de chlore libre de 0,2 à 0,5 mg/l sur le réseau, est le gage d'une eau bactériologiquement potable.

3.1.4.2. Inconvénients.

-approvisionnement -

C'est un facteur à apprécier au cas par cas. Une récente enquête a mis en évidence que certains départements ne possédaient pratiquement pas de désinfection au chlore gazeux parce que l'approvisionnement en bouteilles y serait difficile. Ainsi, dans le cas d'un projet de désinfection, il sera utile de questionner les responsables de réseaux voisins (ou la D.D.A.S.S. locale).

-manipulation du chlore gazeux -

Cet aspect est important. Il est cité au titre des inconvénients parce que certains préposés sont réticents à l'utilisation d'un produit réputé dangereux. En pratique, s'il est vrai que le chlore gazeux doit être manipulé avec un maximum

d'attention, il est tout aussi vrai de dire que les accidents sont rarissimes et résultent pour l'essentiel de l'inobservation des consignes de sécurité.

Les matériels modernes sont en effet d'une extrême fiabilité ; par ailleurs, les bouteilles de chlore sont "éprouvées" à intervalles réguliers par le service des Mines. Mais dans ce domaine comme dans bien d'autres, le risque d'incident n'est jamais nul. La première précaution à prendre consiste donc pour le préposé à lire soigneusement les consignes de sécurité, à afficher ces consignes à proximité immédiate du local à chlore et à s'y conformer sans aucune réserve.

Par ailleurs, il appartient au préposé de veiller à maintenir à proximité du local à chlore, l'ensemble des matériels indispensables à chaque changement de bouteille (notamment les joints de plomb qui assurent l'étanchéité entre la bouteille et le chloromètre). Les matériels de sécurité (masque à chlore) et de détection de fuite de chlore (bouteille d'ammoniaque) font également partie de cet équipement indispensable.

Dans bien des stations, le préposé assure effectuer les opérations dans les règles de l'art, mais une visite permet de constater qu'il n'existe aucun stock de ces pièces de rechange.

Ceci étant, ces précautions ne doivent pas devenir un obstacle à la mise en oeuvre d'une chloration au chlore gazeux, et par référence à l'avant-propos, où il est indiqué que la chloration est aujourd'hui une technique plus répandue que le rayonnement UV, on ajoutera que le chlore gazeux est lui-même plus répandu que l'eau de javel.

-implantation du stockage de chlore gazeux -

Le stockage doit être impérativement prévu dans un local spécifique, ce local étant exclusivement réservé à cet effet. En particulier, ne jamais installer un stockage de chlore dans un local de pompage, ou simplement dans un local comportant une armoire électrique... En cas de fuite de chlore, même minime, toute l'installation sera rapidement et irrémédiablement endommagée du fait de l'agressivité du Cl_2 gazeux en atmosphère humide (formation d'acide chlorhydrique).

Dans le même ordre d'idée, concevoir un local ventilé, mais totalement isolé d'un éventuel local adjacent. Aucune communication ne doit être possible : vérifier en particulier qu'il n'existe aucun fourreau, caniveau... entre les locaux.

Si tel n'était pas le cas, le chlore gazeux pourrait se répandre dans le local adjacent et les effets seraient identiques à ceux cités précédemment.

La sécurité consiste en outre à prévoir le stockage de chlore dans un local de volume juste suffisant pour les bouteilles, c'est-à-dire dans un local ventilé (aération haute et basse) où un homme ne puisse pénétrer : le local doit s'ouvrir sur l'extérieur. Les risques d'intoxication pour le préposé sont alors nuls.

Dans le cas où les bouteilles ont malgré tout été installées dans un local plus spacieux, la législation impose de mettre en place un accès de type "porte anti-panique".

A noter enfin qu'un constructeur commercialise une armoire "spéciale chlore", conçue en fonction de ces impératifs et prévue pour une installation directe en extérieur.

-sensibilité aux variations de qualité de l'eau brute -

Les variations de qualité de l'eau brute ont une incidence sur la demande en chlore, donc sur le taux de traitement. Bien qu'il existe sur le marché des systèmes permettant d'asservir le taux de traitement à une mesure en continu du chlore libre résiduel, cet appareillage est financièrement non adapté aux petits réseaux de distribution. Il appartient donc à l'exploitant d'ajuster manuellement le taux d'injection, en effectuant régulièrement des contrôles de chlore libre résiduel sur le réseau.

Si l'eau est de qualité constante (forage profond par exemple), les interventions sur le taux de traitement sont peu fréquentes. Si la source d'eau brute est sujette à de brusques détériorations (à la suite de pluies par exemple dans le cas de sources ou de captages), le préposé sera tenu d'intervenir plus fréquemment. S'il ne le fait pas, il y aura sous ou surchloration momentanée ; la sous-chloration est un problème car la désinfection risque de ne pas être complète ; la surchloration est "sans risque" pour l'aspect "désinfection", mais peut altérer les qualités gustatives de l'eau traitée.

3.2. DESINFECTION A L'EAU DE JAVEL.

3.2.1. **Matériels de base.**

Le matériel de base est constitué du bac de stockage de la solution d'eau de javel (concentrée ou diluée) et de la pompe doseuse.

3.2.1.1. Caractéristiques de l'eau de javel/stockage.

L'eau de javel est un produit d'utilisation si répandue que sa présentation n'est plus à faire. Il reste néanmoins à préciser l'équivalence en chlore d'un litre d'une solution d'eau de javel.

La concentration en chlore d'une solution d'eau de javel est exprimée en degrés chlorométriques, 1 degré chlorométrique étant égal à une concentration de chlore de 3,17 g/l.

L'eau de javel "industrielle" titre 48 ° chlorométrique et contient par conséquent 150 g de chlore par litre de solution. C'est à cette concentration qu'on la trouve auprès des établissements spécialisés dans la distribution de produits chimiques. Elle est livrée, pour les faibles quantités, en touries de 20 à 30 litres. L'eau de javel du commerce se trouve également au titre de 48 ° chlorométrique (berlingots) mais également à concentration plus faible : 12 à 18 ° chlorométrique (bouteilles plastiques). Dans tous les cas, le titre du produit figure sur l'emballage.

Dans le domaine de la désinfection, il est rare que l'eau de javel soit utilisée "en l'état". En effet, tout comme pour le chlore gazeux, les taux de traitement à appliquer sont de l'ordre de 0,5 à 1 g/m³ en chlore et, pour des débits d'eau brute de quelques m³/h à quelques dizaines de m³/h, les volumes équivalents d'eau de javel à 48 ° ou à 12 ° chlorométriques sont très faibles.

On procède alors à une dilution dans un bac de stockage, de manière que le débit de la pompe doseuse soit compris entre 1 et 5 litres/heure.

C'est d'ailleurs, l'un des problèmes de l'eau de javel que de devoir procéder à une dilution préalable. Il en sera fait état ultérieurement.

3.2.1.2. Pompes doseuses.

Ce sont des pompes à membrane dont la gamme de débit est en général

comprise entre 0 et 10 à 20 litres/heure. Le réglage du débit se fait par rotation d'un bouton qui agit sur la course de la membrane, c'est-à-dire sur le volume pompé à chaque battement de la membrane. De façon générale, la pompe est théoriquement réglable de 0 à 100 %, mais le débit minimum "fiable" équivaut à 10 % du débit nominal de la pompe. Certains constructeurs proposent néanmoins des pompes sur lesquelles sont réglables indépendamment l'une de l'autre, la course de la membrane et la fréquence de battement de la membrane, ce qui permet d'obtenir des débits pompés très faibles (0,05 à 0,1 l/h). Mais dans ce cas, le débit pompé n'est constant qu'à l'échelle de l'heure ; il est discontinu à l'échelle de la seconde.

3.2.2. Application à la chloration d'un débit constant.

Le cas le plus général est celui d'une chloration effectuée en conduite sous-pression à l'aval d'une pompe d'exhaure. La pompe doseuse est directement asservie au relai de la pompe d'exhaure et le fonctionnement est en tout ou rien. Le réglage de la pompe doseuse est fonction de la concentration de la solution d'eau de javel et du débit à traiter. L'intervention principale du préposé consiste à mesurer le chlore libre résiduel sur le réseau, et le cas échéant à modifier le réglage de la pompe.

remarque.

Le débit nominal d'une pompe doseuse est notamment fonction de la contre-pression au point d'injection. Il est donc important de connaître cette valeur avant l'acquisition du matériel. Par ailleurs, l'étalonnage de routine de la pompe ne peut être effectué que dans les conditions de fonctionnement, c'est-à-dire pour une contre-pression de refoulement égale à la contre-pression régnant effectivement dans la conduite. En pratique, la pompe étant installée, on ne "touche" pas au refoulement et on étalonne la pompe sur un volume de solution aspiré dans un temps donné.

3.2.3. Chloration à débit variable.

Le problème est identique à celui évoqué pour le chlore gazeux : on ne peut financièrement envisager sur les petits réseaux un asservissement strictement proportionnel au débit, et la solution consiste alors à mettre en place sur la conduite de distribution, un compteur émetteur d'impulsions. Chaque impulsion commande alors un battement de la pompe, et l'eau de javel est distribuée par "bouchons" dans la conduite.

Comme pour le chlore gazeux, la chloration sera d'autant plus homogène que l'intervalle (en litres) entre deux impulsions sera faible (1 à 5 litres) et que le point d'injection sera situé plus en amont du premier utilisateur. Par ailleurs, ce type de désinfection ne sera efficace que si le réseau autorise un temps de contact minimum de 15 mn.

3.2.4. Remarques concernant l'utilisation des pompes doseuses et les compteurs à impulsion.

Les pompes doseuses classiques fonctionnent sur le "secteur" en général sur du 220 V. Ceci suppose que l'énergie électrique soit disponible sur le lieu de traitement. Toutefois, certains constructeurs ont développé des matériels spécifiques à la chloration en l'absence d'énergie électrique, et proposent des systèmes fonctionnant ou bien sur batterie, ou bien à partir d'énergie hydraulique. Ces matériels seront présentés au chapitre 4.

3.2.5. Avantages et inconvénients de la chloration à l'eau de javel.

3.2.5.1. Avantages.

- mise en oeuvre -

Une chloration à l'eau de javel est de mise en oeuvre facile puisqu'il suffit dans le cas le plus général de disposer d'un bac de stockage et d'une pompe doseuse. En outre, l'eau de javel est un produit d'utilisation si courante que le préjugé est d'emblée favorable (à l'inverse du chlore gazeux).

- approvisionnement -

Bien que l'utilisateur d'eau de javel ait intérêt à se fournir auprès d'un grossiste (tant pour le coût du produit que pour le mode de conditionnement), il est facile de pallier les ruptures éventuelles de stock, en s'approvisionnant momentanément localement. (Faire attention toutefois au titre chlorométrique du produit acheté en dépannage et modifier en conséquence la dilution).

3.2.5.2. Inconvénients.

Ils sont multiples et limitent nettement les avantages indiqués ci-dessus.

-réglage -

A priori sans difficulté, le réglage n'est probablement pas aussi évident qu'il y paraît et ce, pour les raisons suivantes :

- . une pompe doseuse a un débit nominal donné (100 % du vernier (1)) qu'il convient de connaître. C'est là une évidence sur laquelle il faut malgré tout insister car sur de nombreuses installations, le préposé ne connaît pas cette donnée essentielle ;
- . le vernier d'une pompe doseuse est graduée en % du débit nominal. Certains verniers permettent une lecture sans ambiguïté des % ; sur d'autres, la lecture est nettement moins pratique et l'erreur possible ;
- . le débit réel de la pompe doseuse, égal au produit du débit nominal par la lecture du vernier, peut donner lieu à "erreur de multiplication" ;
- . pour connaître le débit de chlore injecté (en grammes par heure de chlore), il faut encore multiplier le débit réel de la pompe doseuse par la concentration en chlore de la solution d'eau de javel. Outre une seconde erreur potentielle dans la multiplication, encore faut-il exactement connaître le titre de la solution pompée (c'est-à-dire le titre de la solution initiale corrigée du facteur de dilution).

Il est bien évident que tous ces calculs sont en fait élémentaires, et que la probabilité de cumuler toutes ces erreurs est faible. Une seule suffit néanmoins à fausser le calcul final. Comparée à la technique du chlore gazeux, où le débit de chlore est directement lu sur le débitmètre à chlore, le réglage de l'injection d'eau de javel n'est pas aussi immédiat.

-caractéristiques des solutions de javel -

problèmes liés à la dilution -

Il est rare que l'eau de javel soit utilisée à sa concentration "d'achat" et le préposé doit procéder à une dilution préalable de la solution. Les problèmes rencontrés les plus fréquemment sont les suivants :

- si le préposé procède à la recharge du bac de stockage avant que celui-ci ne soit vide, il doit tenir compte de la quantité de solution restante pour

(1) échelle de réglage

calculer le volume d'eau de javel commercial à ajouter et le volume d'eau de dilution. Le calcul n'est pas immédiat, et les erreurs fréquentes ;

- l'eau de javel est un produit basique et favorise ainsi la précipitation de carbonate de calcium de l'eau de dilution. Le phénomène est d'autant plus marqué que l'eau de dilution est fortement chargée en calcium (TH élevé) et en bicarbonate (TAC élevé). Ce précipité colmate progressivement tous les éléments de la pompe (crépines d'aspiration, tuyauteries, clapets) avec dans un premier temps, réduction du débit de solution pompée et à terme arrêt total de l'installation.

La maintenance du matériel est alors contraignante : le préposé doit veiller très fréquemment à l'état général du matériel et procéder régulièrement à un lavage complet du circuit à l'acide chlorhydrique dilué.

Dans de telles situations, il n'existe que deux solutions : diluer l'eau de javel avec une eau adoucie (ce qui suppose que la station soit équipée d'un adoucisseur), ou/et ajouter dans l'eau de dilution un produit "séquestrant" (l'hexamétaphosphate de sodium) dont le rôle est d'empêcher la précipitation du carbonate. En pratique, ces deux solutions ne règlent jamais en totalité les problèmes de précipitation.

- problèmes liés aux basses températures -

Si l'eau de javel à 48 ° chlorométrique cristallise (se solidifie) aux environs de -20 °C, la température de cristallisation des solutions d'eau de javel est d'autant plus proche de 0°C que la dilution est plus importante. En régions montagneuses, on voit immédiatement la limite d'application de cette technique.

- problèmes liés à la stabilité des solutions -

Une solution d'eau de javel évolue en cours de stockage et se détitre progressivement, ce qui revient à dire que sa teneur en chlore diminue au fil du temps. On peut limiter ce phénomène "naturel" en conservant l'eau de javel à l'abri de la lumière, car la lumière est le principal responsable du vieillissement des solutions. En principe, l'eau de javel livré commercialement en "tourie" est stable pendant un à deux mois. Pour les solutions diluées, même conservées à l'abri de la lumière, il est préférable de les renouveler toutes les quinze semaines, si l'on ne tient pas à agir en permanence sur le débit de la pompe doseuse pour "rattraper le titre de la solution".

- Autonomie -

Il y a deux manières de discuter cet aspect. La première découle de ce qui vient d'être dit précédemment sur la stabilité des solutions : (renouvellement bimensuel des solutions diluées aux quantités prévisibles pour cette quinzaine). Par exemple, si l'on a à chlorer 200 m^3 /jour d'eau brute au taux moyen d'1 g de chlore par m^3 , et si l'eau de javel est diluée à 20 g/l, le stockage ne doit pas excéder 150 litres.

La seconde manière de discuter l'autonomie est de la comparer à celle d'une bouteille de chlore gazeux : 50 kg de chlore (1 bouteille) sont équivalents à 330 litres d'eau de javel à 48 ° chlorométriques et à 2 500 l d'une solution à 20 g/litre de chlore. Ce calcul montre à l'évidence les limites de l'eau de javel en désinfection.

- Sensibilité aux variations de qualité de l'eau brute -

Le lecteur se reportera au paragraphe consacré à cet inconvénient dans le cas d'une chloration au chlore gazeux : chlore gazeux et eau de javel sont équivalents vis à vis des variations de qualité d'eau brute.

3.3. LA DESINFECTION PAR RAYONNEMENT ULTRAVIOLET.

3.3.1. **Matériels de base.**

Il s'agit d'une chambre de contact que l'on place directement sur la conduite d'eau à traiter. La chambre renferme le ou les générateur(s) de rayons UV et l'eau à traiter circule dans l'espace annulaire compris entre le générateur et l'enveloppe de la chambre. Le ou les générateur (s) sont alimenté(s) en énergie électrique par une armoire (fournie avec le matériel). Ce type de désinfection nécessite impérativement une source d'énergie électrique.

Dans les cas les plus simples, le matériel de base est limité à la chambre et à l'armoire électrique. En outre, lorsque l'eau à traiter est légèrement turbide et colorée, il est indispensable de prévoir une cartouche filtrante en amont du générateur afin de réduire les dépôts sur les parois des lampes.

3.3.2. **Matériels complémentaires.**

Il s'agit en fait de systèmes permettant :

- de contrôler la durée de fonctionnement des lampes (horocompteurs),
- de contrôler en continu la puissance du rayonnement émis par la lampe (cellule photoélectrique),
- de dispositifs automatiques de nettoyage des lampes soit par manchon coulissant, soit par lavage en circuit fermé à partir d'une centrale de lavage (pompe + stockage de la solution de nettoyage).

3.3.3. **Mise en oeuvre de la désinfection aux UV.**

3.3.3.1. Choix du matériel.

La principale difficulté dans la mise en oeuvre de la désinfection UV réside dans le choix initial de la puissance du matériel à installer : tous les constructeurs développent en effet une gamme de stérilisateurs standardisés correspondant à un débit théorique de 5, 10, 15... 50 m³/h. En fait, ces débits sont donnés à titre indicatif, car le débit réellement admissible sur un modèle donné dépend directement de la qualité optique de l'eau à traiter, c'est-à-dire de sa perméabilité aux rayonnements UV. On rappellera en effet que la pénétration du rayonnement dans la lame d'eau est limitée par la turbidité et la couleur de l'eau brute.

Par conséquent, pour qu'une désinfection aux UV soit efficace, le matériel UV doit être dimensionné en fonction d'un débit de pointe, et pour la plus mauvaise qualité optique susceptible d'être rencontrée sur l'eau brute.

En pratique, seuls les fournisseurs de matériels UV sont à même de mesurer cette qualité optique et de proposer, pour le débit de pointe souhaité, le modèle adéquat. La mesure de la perméabilité n'est pas en elle-même très compliquée ; elle consiste à noter l'extinction du rayonnement UV au travers d'une lame d'eau de 100 mm, à l'aide d'un spectrophotomètre. La difficulté tient en fait à la représentativité de l'échantillon d'eau soumis à cette mesure : les fournisseurs demandent en effet à l'acquéreur potentiel de leurs faire parvenir un échantillon de l'eau à traiter. Si l'eau est de qualité constante au cours de l'année (forage profond par exemple), le risque de non représentativité est faible ; si l'eau est de qualité variable (source ou captage sensible aux précipitations par exemple), il est souhaitable d'effectuer l'échantillonnage au moment des premières pluies d'automne.

3.3.3.2. Position du stérilisateur sur le réseau.

Comme déjà indiqué, le générateur UV se place aussi près que possible du premier branchement, en aval du stockage d'eau brute : ce traitement a l'avantage d'être instantané (quelques secondes), mais en revanche ne possède aucun effet rémanent (contrairement à la chloration). En outre, dans la mesure où le type de générateur est déterminé par rapport à un débit de pointe, il importe que l'acquéreur potentiel connaisse précisément ce débit.

- asservissement -

Le seul asservissement possible est un asservissement en tout ou rien : le générateur fonctionne à sa puissance nominale ou ne fonctionne pas.

En pratique, un générateur UV devrait fonctionner 24 h sur 24 : s'il est positionné en aval d'un stockage (cette position étant de loin la meilleure), l'eau doit être désinfectée, dès qu'un débit aussi faible soit-il, passe en distribution ; comme il n'existe pas de réseau d'eau potable "sans fuite", le générateur doit être allumé en permanence.

Le seul cas d'asservissement envisageable est celui où le générateur serait placé en aval d'une pompe d'exhaure (donc en amont d'un réservoir ou d'un ballon de surpression). Techniquement, cette configuration est discutable puisque l'eau

stockée (désinfectée) n'est plus soumise à l'agent désinfectant, et est susceptible de recontamination. Mais, si telle est la situation, la mise en service et l'extinction du générateur peuvent être directement asservies à la pompe d'exhaure. A noter,

- que le générateur doit s'allumer quelques secondes avant le démarrage de la pompe et doit s'arrêter quelques secondes après l'arrêt de la pompe.
- que la durée de vie des lampes (7 500 heures en fonctionnement continu) est sensiblement diminuée lorsque le générateur fonctionne en séquences "marche - arrêt".

3.3.4. Avantages et inconvénients de la désinfection aux UV.

3.3.4.1. Avantages.

- autonomie -

La grande majorité des générateurs UV est donnée pour une durée de vie de 7500 heures (soit 10 mois) en fonctionnement continu. Cette autonomie est confortable ; en outre, il est facile pour l'Exploitant de prévoir les dates auxquelles il doit procéder au changement des lampes, donc à la commande des pièces de rechanges (faire attention aux délais de livraison).

On rappellera toutefois que la durée de vie est moindre lorsque la lampe fonctionne en intermittence ; dans la mesure où les constructeurs ne donnent pas précisément une relation entre la durée de vie et la fréquence des séquences "marche - arrêt", seul un contrôle en continu de la puissance émise par la lampe associé à un seuil d'alarme, permet de définir le temps au bout duquel la lampe est à remplacer.

- mise en oeuvre -

Elle est simple puisque le générateur est placé en série sur la conduite d'eau à traiter. En outre, l'encombrement d'un générateur est en général réduit. La mise en oeuvre est également simplifiée par le fait qu'aucun automatisme n'est à prévoir si le générateur est installé sur la conduite maîtresse de distribution, configuration la plus favorable pour une bonne désinfection.

-sensibilité aux variations de qualité de l'eau brute -

Le traitement aux UV est pratiquement insensible aux variations de qualité de l'eau brute, si tant est que le type de matériel ait été dimensionné sur la base des caractéristiques de perméabilité les plus défavorables.

A noter d'ailleurs que la notion de surdosage n'a pas de sens en traitement UV, alors qu'en chloration, un surdosage se traduira par un résiduel important de chlore libre et par une détérioration des qualités gustatives de l'eau. Le sous-dosage a au contraire une réelle signification puisqu'il se traduira par une désinfection incomplète.

- divers -

Par définition, ce traitement ne fait intervenir aucune manipulation de produits chimiques (avantage certain sur le chlore gazeux au plan "psychologique").

3.3.4.2. Inconvénients.

- Contrôle de la qualité de l'eau distribuée -

Ce contrôle est strictement réduit aux contrôles bactériologiques de la D.D.A.S.S., c'est-à-dire à quelques analyses annuelles. C'est l'inconvénient majeur du traitement UV ; on rappellera que pour une désinfection par chloration, la présence du chlore libre résiduel sur le réseau apporte une quasi-certitude quant à la potabilité "bactériologique" de l'eau distribuée (même si, en tout état de cause, la mesure du résiduel de chlore n'est pas une mesure bactériologique).

- action limitée en cas de traitement insuffisant -

Si les analyses D.D.A.S.S. démontrent que l'eau traitée est bactériologiquement non potable, alors que le générateur est normalement entretenu et en parfait état de marche (durée de vie des lampes non dépassée) les possibilités d'action sont limitées ; on peut :

. dans un premier temps, mettre en place un filtre à l'amont du générateur, si l'installation n'en est pas équipée, et vérifier aussitôt après par l'analyse bactériologique l'incidence de la filtration ;

- . diminuer le débit maximum admissible sur l'appareil en bridant la vanne d'admission, jusqu'à obtention de résultats bactériologiques convenables ;
- . compléter l'installation en place par un générateur complémentaire, ou changer le générateur existant par un plus puissant.

Comparativement à une chloration, pour laquelle il suffit d'augmenter le taux de traitement en modifiant le réglage du débitmètre à chlore (ou de la pompe doseuse), un traitement UV s'il s'avère insuffisant, est nettement moins souple au plan des remèdes à apporter.

-énergie électrique indispensable -

Si les constructeurs de matériel de chloration ont développé des systèmes fonctionnant sans énergie électrique, l'installation d'un traitement UV suppose l'amenée d'énergie électrique. Cet inconvénient est néanmoins limité par le fait que le générateur est théoriquement installé au plus près des points de distribution donc à proximité immédiate d'une ligne EDF.

A titre indicatif, on notera que la consommation électrique est de l'ordre de quelques dizaines de W/h par m³ d'eau traitée (10 à 32 W/h selon les constructeurs). Ainsi, un générateur conçu pour un débit de 20 m³/h, consommera de 200 à 600 W/h selon le matériel installé.

+
+ +

4. MAINTENANCE DU MATERIEL.

Comme indiqué dans l'avant propos, un équipement de désinfection ne donnera durablement entière satisfaction que si le matériel est régulièrement visité et entretenu. Cette remarque, de simple bon sens, s'impose néanmoins parce que les exemples de stations correctement conçues et équipées, mais non entretenues sont nombreux. Quelle que soit l'importance du réseau de distribution, il est essentiel que le poste de désinfection soit au minimum visité tous les deux jours, une visite quotidienne (de quelques minutes seulement) étant souhaitable.

4.1. DESINFECTION AU CHLORE GAZEUX.

4.1.1. Règles de sécurité.

Elles sont à appliquer scrupuleusement et concernent :

- la fixation murale des bouteilles,
- le report à l'extérieur de l'évent du chloromètre,
- la présence permanente d'un masque à chlore à proximité de l'installation,
- l'utilisation du masque à chaque changement de bouteilles,
- le renouvellement systématique du joint d'étanchéité en plomb et de la laine de verre entre la bouteille et le chloromètre à chaque changement de bouteille,
- la vérification à chaque visite de l'étanchéité du joint. (on plonge un "coton tige" dans une bouteille d'ammoniaque et on le "promène" tout autour du joint d'étanchéité et du chloromètre : en cas de fuites de chlore, même minimes, il se forme une fumée blanche caractéristique de chlorure d'ammonium),
- la présence d'un stock suffisant de joints de plomb, de laine de verre, et d'ammoniaque.

Pour ce qui a trait à l'implantation des bouteilles et à la conception du local à chlore, le lecteur se reportera au paragraphe 3.1.4.2.

4.1.2. Principales causes d'incident ; remèdes et préventions.

- fuites de chlore -

Elles se produisent essentiellement au changement de bouteille et résultent d'une mauvaise étanchéité entre la bouteille et le chloromètre. Dans la majorité des cas, elles sont le fait de l'inobservation des consignes de sécurité (remplacement systématique du joint de plomb) ou d'un mauvais serrage du chloromètre sur la bouteille ; elles sont par conséquent faciles à éviter.

Beaucoup moins fréquentes, les fuites peuvent provenir d'un chloromètre défectueux. Dans ce cas la seule solution est de fermer la bouteille et de renvoyer le chloromètre en révision. En matière de prévention, respecter la fréquence de révision du matériel. Certains constructeurs fournissent un chloromètre en prêt gratuit pendant le temps de révision.

Elles peuvent enfin provenir de la bouteille elle-même, mais ce cas est rarissime. Dans ce cas prévenir d'urgence le fournisseur et surveiller tout ce qui est sous le vent à moins de 5 m du stockage.

A noter qu'il n'y a ni risque d'explosion, ni d'incendie, mais que le chlore est corrosif en atmosphère humide.

- chloromètre et débitmètre à chlore -

Le chlore livré en bouteilles contient toujours quelques impuretés, et c'est la raison pour laquelle, les constructeurs prévoient un filtre (laine de verre) en amont du chloromètre.

Pour prévenir l'intrusion de ces impuretés dans le chloromètre, il convient de changer systématiquement la laine de verre lors du changement de bouteille. Par ailleurs, certains chloromètres sont également équipés d'un filtre dessiccateur (gel de silice) ; ce gel est bien sûr à remplacer lorsqu'il est saturé (alarme par changement de couleur).

Si ces opérations sont faites régulièrement, le chloromètre est peu susceptible d'incident ; sinon, le risque est d'une part de voir le tube du débitmètre blanchir, d'autre part de bloquer progressivement la bille et le pointeau de réglage. Dans ce cas, renvoyer le chloromètre pour révision.

- jonction entre chloromètre et hydroéjecteur -

Le chlore y circule en dépression à l'état sec. En pratique, au fil du temps, si le clapet de l'hydroéjecteur perd en étanchéité, l'humidité s'accumule dans la conduite. Certaines conduites en polyéthylène se durcissent et deviennent cassantes. Les risques de fuite de chlore sont nuls (le chlore refoule vers le chloromètre) mais l'installation est arrêtée. Pour éviter cet incident, vérifier tous les 2 à 3 mois le joint d'étanchéité de l'hydroéjecteur et le changer le cas échéant ; changer la conduite de chlore lorsqu'elle présente des signes de fatigue.

-hydroéjecteur -

Vérifier que la pression d'eau motrice est suffisante dans l'hydroéjecteur (lecture du manomètre). Si la pression baisse, vérifier l'état de la pompe de surpression ; en cas de colmatage de l'hydroéjecteur, s'adresser au fournisseur.

-électrovanne (injection gravitaire) -

L'incident le plus fréquent est une détérioration par remontée d'eau de chlore ; prévenir ce défaut en installant l'électrovanne plus haut que l'hydroéjecteur.

-divers -

- Prévenir les risques de corrosion due à l'humidité en évitant d'étager sur un même pan de mur plusieurs rampes d'injection : les rampes les plus basses; sont "arrosées" par les gouttes d'eau condensées des rampes supérieures et sont vulnérables à la corrosion.
- Agir régulièrement sur le réglage du chloromètre (en revenant au réglage initial) pour éviter le blocage du pointeau.
- Dans le cas d'une installation de chloration sur eau de forage, ne fonctionnant qu'en dehors des heures de passage du préposé, mettre de temps à autre le pompage en "manuel" de manière à pouvoir vérifier le bon état de marche du matériel.

4.2. DESINFECTION A L'EAU DE JAVEL.

En plus de la maintenance à respecter pour l'entretien des pompes doseuses (se conformer aux instructions du fournisseur), l'utilisation d'eau de javel en désinfection doit faire l'objet d'une surveillance particulière au niveau :

- de la préparation des solutions diluées d'eau de javel,
- des risques d'entartrage progressifs du circuit d'injection (carbonate de calcium).

4.2.1. **Préparation des solutions diluées d'eau de javel.**

- Renouveler systématiquement et en totalité la solution diluée tous les quinze jours.

Si l'installation est correctement gérée, le volume résiduel d'eau de Javel à évacuer après chaque quinzaine ne doit pas être supérieur à 10-20 litres. Stocker ce résiduel dans les touries ayant servi au stockage de l'extrait de Javel et l'utiliser à d'autres fins (entretien des locaux communaux par exemple). Si le résiduel est sensiblement plus important, préparer pour la quinzaine suivante une moindre quantité en rapport avec la consommation de la quinzaine précédente.

- Opter lors de l'achat du matériel pour une cuve de stockage graduée ; sinon procéder à l'étalonnage de la cuve.
- Préparer si nécessaire, un tableau de dilution (à afficher dans le local), pour éviter au préposé de refaire systématiquement les calculs.
- Vérifier le cas échéant l'état de l'adoucisseur pour eau de dilution, et changer la cartouche dès que nécessaire.

4.2.2. **Surveillance du circuit d'injection.**

- Vérifier très régulièrement l'état des crépines, clapets, conduites et détartrer si nécessaire par lavage à l'acide chlorhydrique dilué (chasser au préalable l'eau de javel contenue dans le circuit par lavage à l'eau claire).
- Etalonner la pompe doseuse et afficher la courbe d'étalonnage. Procéder 2 fois/an environ au réétalonnage.
- Tester l'installation en marche manuelle, si le pompage a lieu en dehors des heures de passage du préposé.

4.3. DESINFECTION AUX U.V..

La maintenance d'une station de traitement aux U.V. est relativement simple, puisqu'elle consiste pour l'essentiel à vérifier le bon fonctionnement des lampes, à les nettoyer régulièrement et à procéder à leur remplacement dès que leur durée de vie est atteinte. Si le poste est par ailleurs équipé d'une préfiltration, le nettoyage et/ou le remplacement de l'élément filtrant font également partie des opérations courantes d'entretien. Il convient par ailleurs :

- d'équiper impérativement la conduite maîtresse de distribution d'un compteur de manière à vérifier que le débit maximum tiré sur la conduite n'excède pas le débit de traitement pour lequel l'appareil est conçu ;
- prévoir une vanne en amont du générateur UV pour limiter le cas échéant le débit soutiré ;
- d'approvisionner les lampes en tenant compte des délais de livraison du constructeur ;
- de tenir compte de l'information donnée pour la mesure en continu de la puissance émise par la lampe pour prévoir le remplacement ; cette remarque vaut surtout pour les générateurs à fonctionnement discontinu) ;
- à fortiori, de ne pas attendre que la ou les lampe(s) soi(en)t grillée(s) pour procéder à leur remplacement.

4.4. REMARQUE CONCERNANT LE TEMPS A CONSACRER A LA MAINTENANCE.

Une installation normalement et régulièrement entretenue ne demande qu'un temps de maintenance très réduit, et la visite de routine ne doit pas demander plus de quelques minutes sur le site de la station. Ceci vaut plus particulièrement pour les techniques de désinfection au chlore gazeux et aux UV. Seules les interventions pour changement de bouteilles ou de lampes UV seront plus longues, sans excéder 1/2 heure à 1 heure par intervention.

Ceci étant, il est difficile de donner une évaluation précise du poste "main d'oeuvre" dans la mesure où le temps réel d'immobilisation dépend des facilités d'accès au site de la désinfection et dans la mesure où le déplacement correspondant peut être "spécifique" ou s'inscrire dans une tournée d'inspection d'autres équipements.

Au plan des coûts d'exploitation (présentés au chapitre 6), ce poste ne sera donc pas chiffré, mais indiqué "pour mémoire".

5. MATERIELS PROPOSES PAR LES CONSTRUCTEURS - COUTS.

5.1. GENERALITES.

Les informations contenues dans ce chapitre ont été obtenues sur consultation des principales entreprises spécialisées dans le matériel de désinfection. Les entreprises citées ne constituent en aucune façon une liste exhaustive, notamment en matière de désinfection à l'eau de javel, pour laquelle les équipements de stockage et d'injection ne relèvent pas d'une technicité spécifique à cette utilisation.

Dans le domaine du chlore gazeux et du rayonnement ultraviolet au contraire le nombre de "spécialistes" est plus limité et les entreprises citées couvrent la grande majorité des réalisations existantes.

Les coûts des matériels ont également été obtenus sur consultation de ces entreprises ; sauf spécification du contraire, tous les coûts indiqués sont à considérer comme suit :

- valeur : janvier 1985,
- hors taxes,
- frais d'emballage, de livraison, et de montage exclus.

Dans bien des situations, la simplicité du matériel est telle que le montage peut être réalisé par l'acquéreur, l'intervention du vendeur pouvant être limitée à une assistance à la mise en service. Cette assistance est souhaitable notamment pour le chlore gazeux et les ultra violets.

5.2. CHLORATION AU CHLORE GAZEUX.

5.2.1. **Matériels de base.**

-Présentation -

Les principales caractéristiques des matériels sont résumées au tableau 1.

TABLEAU 1

CARACTERISTIQUES DES CHLOROMETRES DISPONIBLES SUR LE MARCHÉ

Type de chloromètre	Marque	Mode de fixation	Gamme de dosage (1) en g/h	Remarques ou caractéristiques	Automatismes/régulation
chloromètre sous pression	CIFEC type : 812	sur bouteille	5 - 50 6 - 120	Si injection en conduite : P 0,7 bar Si injection par diffuseur : immersion minimale du diffuseur : 1 m.	Envisageable sur le débit uniquement en "tout ou rien", sous réserve de la mise en place d'une vanne spéciale sur le circuit chlore.
chloromètre en dépression	CIFEC	sur bouteille	0,6 - 12 1,5 - 28 4 - 75 10 - 200	Choix de l'hydrojecteur : fonction du débit maximal de chlore et de la contre-pression au point d'injection. Pour une contre-pression nulle à l'injection, la pression amont sur l'hydrojecteur doit être de 0,8 bar. (C'est-à-dire de colonne d'eau).	Envisageable sur le débit ou sur le résiduel (ainsi que sur l'un et sur l'autre) sous réserve de la mise en plan des éléments correspondants.
	ATH type REGAL	sur bouteille	2,5 - 25 4 - 75 10 - 200	IDEM	IDEM
	ALDOS K 101	sur bouteille	2,5 - 40 5 - 100 10 - 250	IDEM	IDEM
	FISCHER AND PORTER série 70 C 1700	sur bouteille	1 - 20 3 - 60 10 - 200	IDEM	IDEM
	DEGREMONT D 101	sur bouteille	3 - 25 2,5 - 40 5 - 100 10 - 250	IDEM	IDEM
	WALLACE AND TIERNAM	murale	2 - 25 5 - 100 15 - 300	IDEM	IDEM

(1) gammes non limitatives : les gammes indiquées sont celles à utiliser pour les débits inférieurs à 50 m³/h.

On notera que tous les chloromètres sont à fixation directe sur bouteille à l'exception du modèle WALLACE AND TIERNAM, et que le débitmètre à chlore de plus petit calibre est proposé par CIFEC (12 g/h de chlore). Chaque constructeur possède par ailleurs une gamme complète d'hydroéjecteurs dont le choix sera fonction du débit de chlore à injecter et de la contre-pression au point d'injection.

- coût -

Selon les constructeurs, l'ensemble "chloromètre + hydroéjecteur" se situe aux environs de 12 à 15 000 FHT. Ce coût ne comprend pas la fourniture de la bouteille de chlore (cf. annexe), ni celui de l'éventuelle pompe de surpression. Pour cette dernière, compter de 3 à 6 000 FHT selon le débit et la pression nécessaires.

5.2.2. Matériels complémentaires.

-Inverseur automatique (passage d'une bouteille sur l'autre) :

- proposé par tous les constructeurs,
- coût : de 6 à 12 000 FHT (y compris le second chloromètre).

-Chloration vers plusieurs points d'injection :

- proposée par tous les constructeurs,
- coût : de 3 800 à 6 000 FHT par point d'injection (en plus du matériel de base).

-Régulation de la chloration sur conduite à débit variable :

- coût du compteur à impulsions : de 800 FHT ($2,5 \text{ m}^3/\text{h}$) à 8 000 FHT ($50 \text{ m}^3/\text{h}$),
- coût du coffret électrique : de 2 000 FHT à 3 000 FHT.

-Trousse d'analyse du chlore résiduel au DPD :

- coût : de 800 à 1 500 FHT.

-Armoire spéciale "chlore" :

- coût : 10 000 FHT

5.2.3. Autres matériels.

Dans ce paragraphe, on évoquera les matériels conçus pour fonctionner en

l'absence d'énergie électrique et d'énergie hydraulique. Il semble qu'un seul constructeur (CIFEC) ait développé ce type de matériel.

5.2.3.1. Chloromètre sous pression.

- présentation -

Ce matériel est utilisable lorsque le site du captage ne possède aucune source d'énergie électrique et que la pression en amont de l'hydroéjecteur est insuffisante par rapport à la contre-pression aval.

Le chloromètre est doté alors d'un système permettant la détente du chlore de 6 bars (pression dans la bouteille) à 1,4 bar. Le chlore gazeux est injecté directement dans la bêche par l'intermédiaire d'un diffuseur. Ce système ne peut être asservi au débit que dans le cas d'un réservoir alimenté en discontinu par l'intermédiaire d'une vanne à flotteur : une vanne à flotteur "spéciale chlore" est mise en place sur le tube d'amenée de chlore et fonctionne en parallèle avec la précédente.

Outre que ce système n'est pas "parfait" dans la mesure où le chlore gazeux peut éventuellement s'échapper du réservoir d'eau traitée (dissolution insuffisante), il faut noter que le débit de chlore extrait de la bouteille varie sensiblement avec la température (pour un même réglage) ; ceci oblige à immerger la bouteille dans la source de manière à éviter les trop grandes variations de température, donc les trop grandes irrégularités dans le débit de chlore distribué.

- coût -

- . Chloromètre : 16 600 FHT (hors bouteille),
- . vanne spéciale chlore pour asservissement en tout ou rien : 3 000 FHT.

5.2.3.2. STERECONOME CIFEC.

- présentation -

Il s'agit d'un ensemble qui se compose en plus des éléments de base (chloromètre, hydroéjecteur) d'un coffret électronique et d'une hydrovanne alimentés électriquement par une batterie ; la conduite d'eau à chlorer doit être

équipée d'un compteur émetteur d'impulsions et la pression amont doit être suffisante pour le bon fonctionnement de l'hydroéjecteur (0,8 bar si la pression est nulle en aval de l'éjecteur). La batterie possède, d'après le constructeur une autonomie supérieure à 6 mois.

-coût : 33 500 FHT hors bouteille et compteur à impulsion.

5.3. CHLORATION A L'EAU DE JAVEL.

5.3.1. **Matériels de base.**

Les caractéristiques et les coûts ont été obtenus sur consultation des sociétés "CILLICHIMIE, ALLDOS, PERMO".

-présentation -

Le matériel de base est constitué d'une cuve en polyéthylène de 120 l et d'une pompe doseuse de débit réglable jusqu'à 8 à 12 litres/heures.

-coût -

Environ 4 000 FHT

Plus value de 150 FHT pour un stockage de 150 l, de 5 à 600 FHT pour un stockage de 200 l.

5.3.2. **Matériels complémentaires.**

Déjà décrits pour la chloration au chlore gazeux, il s'agit du compteur à impulsions (asservissement au débit) et de la trousse d'analyse du chlore libre résiduel au DPD.

5.3.3. **Remarques.**

Certains constructeurs commercialisent par exemple l'ensemble : stockage + pompe + compteur à impulsions + coffret électronique. Chez "PERMO", le coût d'investissement varie de 5 200 FHT ($2 \text{ m}^3/\text{h}$) à 8 000 FHT ($25 \text{ m}^3/\text{h}$). Pour des débits supérieurs à $25 \text{ m}^3/\text{h}$, le compteur à impulsions ne paraît pas très adapté à la chloration sur réseau (impulsion tous les 50 litres).

5.3.4. Matériels développés pour l'injection d'eau de javel en l'absence d'électricité.

5.3.4.1. Matériel CIFEC - DAC (chloration directe sur réseau).

Cet appareil fonctionne sur le principe d'un compteur d'eau, placé sur la conduite, qui entraîne hydrauliquement une pompe doseuse. La chloration est proportionnelle au débit d'eau. Ce système nécessite toutefois une pression amont de 1 bar et fonctionne à l'eau de javel diluée (risque d'entartrage). Ce matériel est disponible pour des débits de 0 à 35 m³/h, et son coût est variable en fonction du débit : 12 000 à 40 000 FHT.

5.3.4.2. Matériel CIFEC - FIVEL.

Ce système fonctionne grâce à une pompe pneumatique actionnée par l'eau motrice. Son intérêt principal réside dans la possibilité de doser de l'eau de javel pure, même en faibles quantités. Mais de l'aveu même du constructeur, sa relative complexité fait qu'il est mal perçu par l'utilisateur.

Coût : environ 13 300 FHT.

5.3.4.3. STERECONOME - CIFEC.

Ce matériel a déjà été décrit dans sa version chlore gazeux (cf. 5.2.3.2.). L'ensemble se compose de la batterie (autonomie = 6 mois) d'un coffret électronique et de la pompe doseuse. Le coffret transmet à la pompe les ordres de "marche -arrêt" fournis par les impulsions du compteur.

Coût : 19 700 FHT hors bouteille et compteur à impulsions.

5.3.4.4. POSTE DE STERILISATION STRAUMANN.

L'appareil fonctionne sans autre énergie que celle apportée par l'écoulement d'un filet d'eau sur un système à bascule. Cette bascule actionne un levier puisant périodiquement un volume déterminé d'eau de javel concentrée ou diluée. D'après le constructeur, une chloration pseudo proportionnelle au débit est envisageable, mais ce point est à confirmer.

Coût : environ 9 000 FHT.

5.4. DESINFECTION PAR RAYONNEMENT UV.

Dans ce domaine, il est difficile de résumer en un seul tableau, les caractéristiques principales des matériels proposés sur le marché. C'est la raison pour laquelle, une fiche a été dressée pour les principaux fournisseurs. A la lecture de ces fiches on remarque :

- que la majorité des appareils est conçue en acier inoxydable ; ce point est important, notamment dans le cas d'eaux peu minéralisées et agressives ;
- que le matériel de base est constitué du stérilisateur et de son coffret électrique ;
- que certains appareils peuvent être ou non équipés de systèmes de nettoyage automatique et que lorsque ce système n'est pas prévu, l'utilisateur doit "démonter" le stérilisateur pour le nettoyer ;
- qu'à débit nominal identique les puissances électriques des stérilisateurs sont très variables d'une marque à une autre, et qu'il n'est que rarement indiqué si la puissance correspond à la seule puissance germicide, à la puissance réelle de la lampe, ou à la puissance de la lampe et du coffret électrique ; (les puissances étant de l'ordre de la centaine de watts, la puissance "coffret" n'est parfois pas négligeable par rapport à la puissance de la lampe).

Par ailleurs, chaque constructeur propose une série d'options plus ou moins étendues allant du simple voyant lumineux (marche, défaut) au système de mesure en continu de la puissance émise (avec alarme et point de consigne réglable), et du système de nettoyage semi automatique au système de nettoyage automatique programmable.

En fait, en matière d'U.V., il semble qu'une installation doit être conçue dès l'origine avec le minimum de dispositifs de contrôle que sont :

- les compteurs horaires (contrôle du vieillissement de la lampe),
- la mesure en continu de l'intensité émise par le générateur ainsi que l'affichage réglable d'une intensité limite en deçà de laquelle la lampe doit être renouvelée,
- le débitmètre de contrôle du débit instantané à traiter, couplé éventuellement avec un système de limitation de ce débit.

ACTINI

STERILISATEURS U.V. DE BASE.

Modèle	Débit (m ³ /h)	Nombre de lampes	Puissance	Durée de vie	Construction	Coût FHT
G1	0,5-2 ⁽¹⁾	1	30 W	7500 h	acier inox	3200 ⁽²⁾
G4	5-16 ⁽¹⁾	4	120 W	7500 h	acier inox	10600 ⁽²⁾

(1) selon qualité de l'eau
(2) janvier 1985

POUR TOUS DEBITS SUPERIEURS A LA CAPACITE DE G4 :

Ensemble 2 G4 : coût : 27 150 FHT
Ensemble 3 G4 : coût : 39 200 FHT.

COUT DE REMPLACEMENT DES LAMPES :

227 FHT/lampe y compris joints.

MATERIEL EN OPTION.

Groupe portable de lavage (bac + pompe de lavage) : 8 790 FHT.

STATION SUR CHASSIS AVEC SYSTEME DE NETTOYAGE EN PLACE.

(Nettoyage en circuit fermé avec programmation des cycles).

Pour :

20 m³/h ; environ : 70 000 FHT,
30 m³/h ; environ : 80 000 FHT,
40 m³/h ; environ : 90 000 FHT,
50 m³/h ; environ : 100 000 FHT.

+
+ +

KATADYN

STERILISATEURS DE BASE

Modèle	Débit (m ³ /h)	Nombre de lampes	Puissance W	Durée de vie	Construction	Coût FHT
J	3-5	1	90	7 000 h	acier	12 536
					acier inox	15 980
U2	10-14	2	185	7 000 h	acier	29 412
					polyéthylène	-
G4	20-40	4	160 (1)	7 000 h	acier galva.	57 545
			370 (2)		acier inox	65 230

(1) lampe seule
(2) lampe + coffret

- lampe de remplacement :
coût : 764 FHT
- options
contrôle électronique ~~7~~ 8 000 FHT

LE CARPENTIER

STERILISATEUR U.V. DE BASE.

Comprend : le stérilisateur avec sa (ou ses) lampe(s) le système manuel de nettoyage des lampes (nettoyage par raclage) et l'armoire de commande.

Modèle	Débit (m ³ /h)	Nombre de lampes	Puissance	Durée de vie	Construction	Coût FHT(1)
714	2		60 W	7 500 h	acier inox	19 248
714-2	4-6		95 W	7 500 h	acier inox	35 016
716	4		75 W	7 500 h	acier inox	22 320
716-2	8-10		140 W	7 500 h	acier inox	39 336
1 544	10		190 W	7 500 h	acier inox	42 150
1 546	20	à	280 W	7 500 h	acier inox	55 392
2 064	15	préciser	285 W	7 500 h	acier inox	56 352
2 066	35		420 W	7 500 h	acier inox	75 624
2 074	20		340 W	7 500 h	acier inox	58 536
2 076	45		495 W	7 500 h	acier inox	81 872
2 084	25		380 W	7 500 h	acier inox	60 456
2 086	55		560 W	7 500 h	acier inox	85 752

(1) Coût des appareils y compris options. Pour l'appareil "nu", compter environ 3/5 de ce coût

OPTIONS :

- . contrôle et limiteur de débit,
- . contrôle de l'intensité et comparaison à une valeur de référence,
- . nettoyage automatique avec programmation (nécessite un compresseur pour un coût ~~≠~~ 4 000 FHT).

HYCO ET AULAS

STERILISATEURS U.V. DE BASE.

Modèle	Débit (m ³ /h)	Nombre de lampes	Puissance W	Durée de vie	Construction	Coût FHT
C2A	2,5	1	300	6 000 h	acier galva.	5 560
C4A	5	2	450	6 000 h	acier galva.	9 251
C6A	7,5	3	700	6 000 h	acier galva.	11 335
C8A	10	4	900	6 000 h	acier galva.	13 739
C10A	12,5	5	1 150	6 000 h	acier galva.	15 671
C12A	15	6	1 400	6 000 h	acier galva.	18 827
C14A	17,5	7	1 600	6 000 h	acier galva.	22 176
C16A	20	8	1 800	6 000 h	acier galva.	26 817
C20A	22,5	10	2 200	6 000 h	acier galva.	30 676
C24A	25	12	2 600	6 000 h	acier galva.	35 149
C28A	30	14	3 000	6 000 h	acier galva.	40 152
C30A	32	15	3 200	6 000 h	acier galva.	43 596
C32A	35	16	3 400	6 000 h	acier galva.	45 014

COUT DE REMPLACEMENT DES LAMPES.

484 FHT/lampe.

OPTIONS :

Contrôle automatique de la puissance de la lampe et
déclenchement d'une alarme :

plus value de 760 FHT pour le stérilisateur C2A,

plus value de 2 470 FHT pour le stérilisateur C14A

plus value de 4 450 FHT pour le stérilisateur C 32A.

++
++

MASURE

STERILISATEURS U.V. DE BASE.

Modèle	Débit (m ³ /h)	Nombre de lampes	Puissance	Durée de vie	Construction	Coût FHT
SUV						
30-6	4 - 6	2	60 W	(1)	acier galva.	7 610
SUV						
30-9	7 - 9	3	90 W	(1)	acier galva.	-
SUV						
50-15	10 - 15	4	120 W	(1)	acier galva.	-
SUV						
50-24	16 - 24	6	180 W	(1)	acier galva.	28 720
SUV						
80-50	37 - 50	12	360 W	(1)	acier galva.	48 770

(1) environ 6 000 h ; au delà, la perte en flux est de l'ordre de 20 %

COUT DE REMPLACEMENT DES LAMPES :

200 FHT/lampe y compris joints.

OPTIONS :

Contrôle de la puissance émise :

250 FHT pour les petits stérilisateurs,

500 FHT pour les plus importants.

REMARQUES :

Lavage manuel des lampes ; pas de dispositif automatique.

+
+ +

PROTECO

STERILISATEURS U.V. DE BASE.

Modèle	Débit (m ³ /h)	Nombre de lampes	Puissance W	Durée de vie	Construction	Coût FHT
LMS 30-84	3	1	40	3 000 h	inox	7 800
LMI S-84	5	1	100	7 500 h	inox	9 870
LM2 S-84	10	2	200	7 500 h	inox	12 470
LM4 S-84	20	4	400	7 500 h	inox	24 930
LM6 S-84	30	6	600	7 500 h	inox	37 400
LM8 S-84	40	8	800	7 500 h	inox	49 900

COUT DE REMPLACEMENT DES LAMPES :

LMS 30 - 84 : 210 FHT

LM1 S84 à LM8 S84 : 300 FHT/lampe.

OPTIONS :

Détecteur du mauvais fonctionnement éventuel du générateur + alarme
coût non communiqué.

+
+ +

SATIM (STERILISATEURS BELUVA)

Le nombre et le type de matériels proposés ne permettent pas d'en résumer simplement les caractéristiques. Nous renvoyons donc à la documentation fournie en annexe.

COÛT.

Le seul coût donné par SATIM concerne un poste de stérilisation de 50 m³/h.

- Fourniture standard (matériel en acier inoxydable) -
stérilisateur + armoire de commande et de contrôle : 90 000 FHT.

- Options :
 - . dispositif manuel de nettoyage - plus value : 9 000 FHT,
 - . dispositif de sécurité (contrôle de la puissance du rayonnement U.V. et comparaison à une valeur minimale affichable ; relayage pour alarme à distance). Plus value : 12 000 FHT.

+
+ +

5.5. REMARQUES.

Le coût d'investissement d'une station de désinfection n'est pas limité au coût du matériel mais recouvre également l'aspect "génie-civil". Au niveau de ce manuel, il serait aléatoire de donner des coûts de "génie civil", pour la simple raison, que chaque réseau, donc chaque station, est un cas particulier et qu'en outre le coût de tel ou tel ouvrage (réservoir en particulier) sera variable selon l'implantation géographique du réseau.

Un poste de désinfection sera le plus souvent installé dans un local, dont la surface minimum est de quelques m². Si le site l'autorise, on pourra néanmoins envisager l'implantation du matériel dans un local de pompage existant, à l'exception bien évidemment du chlore gazeux qui requiert un local spécifique totalement isolé d'autres locaux. (Un abri avec grillage de protection est envisageable pour le chlore gazeux, mais l'installation doit tenir compte des risques éventuels de gel (calorifugeage des conduites).

+
+ +

6. COUT D'EXPLOITATION.

Dans ce chapitre seront présentés :

- les coûts en énergie électrique,
- les coûts en réactifs,
- les coûts de renouvellement du matériel (UV).

Comme déjà indiqué, le coût du poste main d'oeuvre ne sera pas chiffré en raison de son caractère aléatoire, mais on rappellera quelques indications quant à l'importance du temps à consacrer au traitement.

Par ailleurs, les coûts d'exploitation seront donnés hors amortissement du matériel.

6.1. MAIN D'OEUVRE.

Le poste "main d'oeuvre" ne sera pas chiffré (voir paragraphe 4.4) mais on rappellera que l'exploitation correcte du traitement exige une visite régulière (une fois par jour ou une fois/2 jours). Le chlore gazeux et les UV sont à considérer sur un même plan pour ce qui a trait à la main d'oeuvre. La chloration à l'eau de Javel est assurément plus contraignante que les deux précédentes, l'importance de la main d'oeuvre étant toutefois difficile à préciser ; à titre indicatif ; on peut estimer que l'utilisation d'eau de Javel immobilisera le préposé deux à trois fois plus longtemps que pour une technique au chlore gazeux ou aux U.V., en particulier pour la préparation des solutions et le lavage des circuits d'injection.

Concernant également ce poste "main d'oeuvre", on notera que la technique de chloration (chlore gazeux ou eau de Javel) permet au préposé de contrôler l'efficacité du traitement par le biais des mesures du chlore libre résiduel sur le réseau, alors qu'aucune mesure de routine n'est envisageable pour une désinfection aux U.V. En ce sens la chloration induit "un travail" supplémentaire comparativement aux U.V. Cette évidence doit être néanmoins discutée au regard de l'intérêt de l'autocontrôle ; en outre la mesure du chlore libre résiduel

par la méthode colorimétrique au DPD ne peut en aucun cas être considérée comme un surcroît réel de main d'oeuvre.

6.2. COUT EN REACTIFS.

6.2.1. **Désinfection par chloration.**

6.2.1.1. Chlore gazeux.

Le coût du chlore gazeux n'est pas, à taux d'injection constant, proportionnel au volume d'eau à traiter. En effet, en plus du produit lui-même, le coût d'exploitation doit tenir compte des sujétions liées aux bouteilles elles-mêmes, lesquelles peuvent être ou bien achetées par l'acquéreur, ou bien louées à l'entreprise qui délivre le chlore. A titre indicatif, on a présenté au tableau de la page suivante la décomposition du coût du chlore gazeux, les informations ayant été communiquées par la Société GAZECHIM (MITRY-MAURY et BEZIERS) et la Société PROCIA (TOUL).

En pratique, l'utilisateur de chlore peut :

- louer sa ou ses bouteille(s) ; dans ce cas, il verse une caution, et la location n'est effective qu'au delà d'une certaine période, si la bouteille n'a pas été réexpédiée, dans l'intervalle, pour remplissage ;
- acheter sa ou ses bouteille(s) ; dans ce cas la fréquence à laquelle la bouteille retourne à l'usine pour remplissage n'a plus d'importance, mais le propriétaire assume la totalité des frais de contrôles exigés par le Service des Mines.

En fait, le calcul présenté en annexe montre que la solution "location" est plus avantageuse que la solution "achat", lorsque les consommations en chlore sont importantes et inversement. Ainsi en raisonnant aux "extrêmes", il s'avère que pour une consommation quotidienne de 2 400 g de chlore ($50 \text{ m}^3/\text{h} \times 24 \text{ h} \times 2 \text{ g/m}^3$), le coût du kg de chlore revient à 5 FHT (valeur janvier 1985) si la bouteille est louée et à 6 FHT si la bouteille est achetée. A noter que ces coûts sont donnés "hors transport", et qu'ils correspondent à la deuxième année de service, l'amortissement des frais de consigne ou d'achat étant supposé inclu sur la première année d'exploitation. Ramené au m^3 d'eau traitée et sur la base d'un taux de traitement de 2 g de Cl_2 par m^3 , le coût du traitement oscillera de 0,012 FHT/ m^3 (stations à fort débit) à 0,016 FHT/ m^3 (très petites stations).

COÛT DU CHLORE GAZEUX

Décomposition du prix	GAZECHIM à MITRY-MAURY et BEZIERS	PROCIA à TOUL
Emballage bouteille	Option : Location :	caution : 1 200 F/u location : gratuite de 0 à 60 j 3,30 FHT/j/tube au-delà du 60e jour
		caution : 1 250 F/u location : gratuite de 0 à 30 j 3,65 FHT/j/tube au-delà du 31e jour
	Option : Achat :	achat : 1 575 FHT/tube à charge pour le client
		achat : 2 000 FHT/tube (à confirmer) à charge pour le client
	- passage aux Mines tous les cinq ans 221 FHT/tube - contrôle des Mines tous les 30 mois 176 FHT/tube - vérification GAZECHIM 41,20 FHT/tube	idem mais non spécifié par PROCIA vérification PROCIA 46 FHT/tube/remplissage
Coût du chlore	(tube loué ou acheté) 5,98 FHT/kg pour 1 tube de 50 kg départ usine 4,98 FHT/kg pour 2 tubes (soit 100 kg) départ usine	(tube loué ou acheté) 10,00 FHT/kg pour 2 tubes (soit 100 kg) départ usine

6.2.1.2. Eau de Javel.

Pour ce réactif, le coût de traitement est sensiblement proportionnel au débit d'eau à traiter. Les solutions d'extrait de Javel sont commercialisées aux environs de 1,30 FHT/kg de produit commercial soit 1,60 FHT par litre d'extrait. Pour une teneur moyenne de 130 g de chlore par litre d'extrait, le coût du kg de chlore revient à 12,30 FHT, et le coût du traitement (sur la base d'un taux de 2 g/m^3) est d'environ de $0,025 \text{ FHT/m}^3$.

Ce coût est donc de 1,5 à 2 fois plus élevé que le coût du chlore gazeux. A noter qu'il ne comprend pas en outre, le coût éventuel d'eau adoucie pour la dilution ou le coût d'haxamétaphosphate (produit séquestrant qui peut éviter la précipitation du carbonate de calcium, lorsque l'eau de dilution est dure).

6.2.2. **Désinfection aux UV.**

Par définition, le coût en réactifs est nul, si l'on excepte la dépense minimale que représentent les solutions de lavage périodique des lampes.

6.3. ENERGIE ELECTRIQUE.

6.3.1. **Désinfection par chloration.**

La consommation énergétique est insignifiante tant pour le chlore gazeux que pour l'eau de Javel du fait de la puissance des pompes doseuses ou des pompes de surpression (quelques dizaines de watt à une centaine de watt).

6.3.2. **Désinfection par rayonnement UV.**

Sauf dans le cas particulier, où la lampe UV est asservie à un dispositif de pompage, le coût en énergie électrique d'une désinfection aux U.V. doit être calculé en supposant que la lampe fonctionne en permanence durant 7500 heures, soit 10 mois environ.

Comme on peut s'apercevoir sur les différentes documentations, à débits théoriques identiques, les stérilisateurs proposés par chaque constructeur ne consomment pas la même énergie électrique, mais on remarque toutefois qu'en règle générale, pour un même fournisseur, la puissance absorbée est directement proportionnelle au débit capable du stérilisateur. On constate ainsi, que la puissance spécifique (W/m^3) varie d'un facteur 1 à 3 (10 à $32 \text{ W/m}^3/\text{h}$).

On notera en fait que la notion de consommation électrique rapportée au m³ d'eau traitée est difficile à cerner, puisque sur un réseau de distribution, elle est totalement indépendante du volume d'eau désinfecté.

A titre indicatif, on effectuera néanmoins un calcul approximatif en supposant :

- un stérilisateur consommant 20 W/m³/h et conçu pour 50 m³/h,
- une production d'eau maximale de 600 m³/j,
- un stérilisateur fonctionnant 24 h/24.

Le coût en énergie s'établit donc à :

$$\frac{24 \text{ KWh/j} \times 0,35 \text{ FHT/KWh}}{600 \text{ m}^3/\text{j}} = 0,014 \text{ FHT/m}^3$$

6.4. RENOUVELLEMENT DU MATERIEL.

6.4.1. Désinfection par chloration.

Néant.

6.4.2. Désinfection aux UV.

De même que pour l'énergie électrique, le coût de ce poste dépend de la taille du générateur et du prix des lampes.

En reprenant l'exemple précédent (stérilisateur conçu pour 50 m³/h, comportant 12 lampes à 300 FHT/l'unité, et traitant 600 m³/jour en moyenne), le coût de renouvellement du matériel sera de :

$$\frac{12 \times 300 \text{ FHT}}{600 \text{ m}^3/\text{j} \times \frac{7500}{24}} = 0,019 \text{ FHT/m}^3$$

6.5. REMARQUE SUR LES COUTS D'EXPLOITATION.

Indépendamment des coûts de main d'oeuvre et d'amortissement du matériel, le coût d'exploitation d'une installation de désinfection est faible et de l'ordre de quelques centimes par m³ d'eau traitée. En raison précisément de la modicité du coût de traitement, il ne paraît pas fondé que ce critère supplante d'autres critères beaucoup plus techniques, dans le choix d'un mode particulier de désinfection.

+
+ +

7. CHOIX D'UN SYSTEME DE DESINFECTION - CONCLUSIONS.

Dans la mesure où les techniques de chloration et de rayonnement UV sont toutes deux adaptées à la production d'eau bactériologiquement potable, il n'existe pas à priori de règles générales qui permettent de définir de façon univoque, le type de désinfection le mieux adapté à tel ou tel type de captage. C'est en fait un ensemble de paramètres qu'il convient d'analyser, et dans l'optique d'aider le Maître d'Ouvrage à effectuer un choix, les principaux critères à examiner sont rappelés ci-dessous.

-autocontrôle -

Sur un plan strictement sanitaire, et plus précisément en matière d'autocontrôle, la chloration l'emporte sur le rayonnement UV. On peut rappeler en effet que le chlore (gazeux ou sous forme d'eau de javel) possède un pouvoir "rémanent", qu'il est facile de doser le chlore libre sur le réseau et qu'il suffit de "jouer" sur un bouton de réglage pour augmenter ou diminuer le résiduel à la valeur souhaitée. Comme déjà indiqué, la présence d'un résiduel oxydant présumé fortement d'une eau bactériologiquement potable et ces contrôles peuvent être répétés aussi souvent que nécessaires (et à coût réduit) entre deux analyses bactériologiques de la D.D.A.S.S. La technique du rayonnement UV ne permet aucun autocontrôle et c'est assurément son plus gros inconvénient.

-caractéristiques du réseau -

Sur les réseaux de distribution de taille très réduite (moins de 15 mn de temps de séjour entre la désinfection et la consommation), le traitement UV paraît mieux adapté que la chloration ;

Sur tout réseau disposant d'une réserve amont sans trop-plein, on optera préférentiellement pour une chloration en amont immédiat de la réserve.

Pour un réseau comportant une réserve alimentée en trop-plein (absence de vanne à flotteur), la chloration est à envisager en aval immédiat du réservoir et l'asservissement au débit sera obtenu par l'intermédiaire d'un compteur à impulsions. Les UV se substitueront à la chloration si le temps de séjour dans le réseau est faible (< 15 mn).

-qualité de l'eau brute -

- Eau de qualité constante dans le temps (forage en général) -

Les deux techniques (chloration et UV) sont envisageables, mais la chloration est préférable du fait des possibilités d'autocontrôle.

- Eau de qualité variable dans le temps -

Le choix est plus délicat : pour de faibles variations à caractère saisonnier, on optera pour la chloration, mais il appartiendra au préposé de procéder régulièrement à une mesure de chlore libre sur le réseau puis d'ajuster le cas échéant le taux de traitement ; pour de fortes variations plus ou moins aléatoires, les UV seront mieux adaptés à la condition essentielle que le stérilisateur ait été dimensionné à la fois pour le débit de pointe et pour l'eau de plus mauvaise qualité.

- Eau dure.-

Dans tous les cas, proscrire l'emploi d'une chloration à l'eau de javel.

-Quantité d'eau à traiter -

Pour de faibles quantités (100 à 300 m³/j), chaque mode de désinfection est techniquement envisageable. Pour de plus fortes quantités, éviter la chloration à l'eau de javel (contraintes liées à la préparation des solutions).

-Contraintes climatiques -

En régions susceptibles d'hivers rigoureux (montagnes en général), éviter la chloration à l'eau de javel.

-Qualification du personnel -

Ce critère est sans incidence sur le choix d'une technique, si le Maître d'Ouvrage dispose d'un personnel "de confiance" ; opter dans l'ordre pour les UV, puis le chlore gazeux et éviter l'eau de javel, si le personnel est peu qualifié. (A noter toutefois, qu'il existe des stages de formation dans ce domaine, et que la compétence en matière de chloration est d'un niveau très accessible).

-Maintenance -

C'est un aspect plutôt favorable au traitement UV bien que le traitement au chlore gazeux ne soit pas particulièrement contraignant.

C'est au contraire un aspect défavorable à la chloration à l'eau de javel.

-Coût d'exploitation.

Le coût d'une désinfection étant de l'ordre de quelques centimes au m³ d'eau traitée, ce critère est à notre avis tout à fait marginal.

-Coût d'investissement -

L'investissement en matériel de base (chloromètre + hydroéjecteur) est pratiquement indépendant du débit à traiter, aussi bien pour le chlore gazeux que pour le javel. Et l'installation d'un poste de javel apparaît moins coûteux que l'installation d'un poste "chlore gazeux". Les petites installations se trouvent donc "pénalisées" par rapport aux plus importantes. A l'inverse, le coût du matériel UV varie progressivement avec la taille de l'installation.

Pour une même taille d'installation et en raisonnant sur le matériel de base, il est difficile d'effectuer une comparaison entre UV et chloration (chlore gazeux ou javel). En effet, les UV devant être préférentiellement situés sur la conduite maîtresse de distribution, c'est le débit d'appel maximal instantané qui doit être pris en compte pour le choix de la lampe. Par ailleurs, si l'on se réfère aux notices "constructeurs", il est clair que les équivalences "lampes - débit" sont données à titre indicatif, puisque la lampe que préconisera le constructeur dépendra de la "perméabilité" de l'eau à traiter au rayonnement UV.

Il apparaît néanmoins que les UV (sans préfiltre) restent compétitifs avec l'eau de Javel et meilleur marché que le chlore gazeux aux très faibles débits. Cependant, au delà d'un débit de pointe de 10 à 15 m³/h, le matériel UV coûte sensiblement plus cher que le chlore gazeux, à fortiori que l'eau de javel. Cette comparaison doit être néanmoins modulée par le fait qu'une désinfection au chlore gazeux ou à l'eau de javel nécessite (dans l'optique d'une désinfection effectuée dans les règles de l'art) la mise en place d'un bassin de contact et de ses équipements hydrauliques (vannes à flotteur notamment) ; le coût en génie civil correspondant peut donc fortement diminuer l'intérêt financier de la

chloration ; mais il s'agit là encore d'études au cas par cas : une désinfection aux UV est envisageable sans stockage amont si le débit du captage ou de la source est toujours supérieur au débit d'appel maximal ; les excédents s'écoulent alors par trop-plein ; au contraire si le débit d'appel est supérieur au débit minimal de la source, la création d'un réservoir-tampon sera nécessaire et le chlore gazeux ou l'eau de javel peuvent s'avérer aussi intéressants en investissement que les UV, même pour les petites unités.

Enfin, le choix d'un système de désinfection (sur le plan financier) peut être influencé par la nécessité et l'importance des automatismes et régulations à prévoir : pour ce qui concerne les UV, on ne peut pas véritablement envisager d'automatismes, la lampe fonctionnera en permanence (ou en tout ou rien si elle est placée en amont d'un stockage à alimentation syncopée). La lampe devra toutefois être équipée d'un horocompteur et d'un système type photoélectrique pour contrôle de l'émission UV.

La chloration au chlore gazeux ou à l'eau de javel peut se trouver pénalisée au plan financier, s'il est prévu un système de régulation type "compteur à impulsions" (régulation sur le débit) ; mais le surcoût en investissement "matériel" pourra être parfois (largement) compensé par l'absence de travaux de génie civil (absence de bêche de stockage si le débit du captage l'autorise, et chloration directe sur le réseau).

A noter également que dans de nombreux cas, la solution "UV" ne pourra jamais être retenue : cas d'un captage sans source d'énergie électrique à proximité.

En conclusion, il apparaît que, dans la majorité des cas, le rayonnement UV et la chloration au chlore gazeux sont tout à fait aptes à régler un problème de désinfection ; la chloration à l'eau de javel n'est au contraire à préconiser qu'en dernier recours, lorsque ni l'une ni l'autre des techniques précédentes ne sont envisageables (budget réduit en particulier).

Relativement à l'autocontrôle, la chloration reste le procédé de choix en matière de désinfection ; mais indépendamment de cet aspect, il semble que pour les réseaux de distribution, les UV trouvent préférentiellement leur place dans la gamme des petits débits (0 - 20 m³/h environ), tandis que la chloration est plus "universelle". Ceci ne signifie en aucune façon qu'il est inconcevable de traiter aux UV un débit supérieur à

20 m³/h. En fait, il est raisonnable d'estimer que l'étendue d'un réseau de distribution augmente lorsque le débit nominal à traiter augmente ; aussi l'absence de rémanence des UV fait-elle craindre alors, un risque de recroissance des germes.

-----0-----

ANNEXE

**COÛT DE LA DESINFECTION AU CHLORE GAZEUX
EXEMPLES**

COUT DE LA DESINFECTION AU CHLORE GAZEUX

1. EXEMPLES ETUDIES.

1er exemple :

débit à traiter : $50 \text{ m}^3/\text{h} \times 24 \text{ h} = 1\,200 \text{ m}^3/\text{jour}$,
taux de traitement : $2 \text{ g}/\text{m}^3$,
consommation : $2\,400 \text{ g}/\text{jour}$ de Cl_2 .

2ème exemple :

débit à traiter : $100 \text{ m}^3/\text{jour}$,
taux de traitement : $2 \text{ g}/\text{m}^3$,
consommation : $200 \text{ g}/\text{jour}$ de Cl_2 .

2. **CONDITIONS PRISES EN COMPTE** : celles de GAZECHIM (valeur janvier 1985).

3. **EXEMPLE N° 1.**($2\,400 \text{ g}/\text{jour}$ de Cl_2).

3.1. OPTION : LOCATION DE DEUX BOUTEILLES.

. autonomie :

$$100 \text{ kg}/2,4 = 42 \text{ jours.}$$

. coût annuel :

- consigne des deux bouteilles : $1\,200 \times 2 = 2\,400 \text{ FHT}$

- chlore : $2,4 \text{ kg}/\text{j} \times 365 \text{ j}/\text{an} \times 4,98 \text{ FHT}/\text{kg} = 4\,362 \text{ FHT}$.

. coût du kg de chlore (location bouteilles comptée sur la 1ère année)

- 1ère année :

$$\frac{2\ 400 + 4\ 362}{2,4 \times 365} = 7,72 \text{ FHT/kg (hors transport)}$$

- les années suivantes (en francs constants) :
4,98 FHT/kg (hors transport).

3.2. OPTION : ACHAT DE DEUX BOUTEILLES.

- autonomie :

$$100 \text{ kg}/2,4 = 42 \text{ jours.}$$

- coût annuel :

- . achat,

$$1\ 575 \text{ FHT} \times 2 = 3\ 150 \text{ FHT}$$

- . contrôle des Mines (ramené sur 1 an)

$$\frac{(221 + 176) \times 2}{5} = 159 \text{ FHT}$$

- . vérif. des bouteilles à chaque remplissage

$$17 \text{ vérifications} \times 4,12 \text{ FHT} = 700 \text{ FHT}$$

- . chlore :

$$2,4 \text{ kg/j} \times 365 \text{ j/an} \times 4,98 \text{ FHT/kg} = 4\ 362 \text{ FHT}$$

- coût du kg de chlore (achat bouteilles compté sur la 1ère année)

- . 1ère année :

$$8\ 371 \text{ FHT}/2,4 \times 365 = 9,56 \text{ FHT/kg (hors transport)}$$

- . les années suivantes (en francs constants)

$$5\ 221 \text{ FHT}/2,4 \times 365 = 5,96 \text{ FHT/kg (hors transport).}$$

3.3. CONCLUSION.

Dans ce cas, l'utilisateur a intérêt à louer les bouteilles et non les acheter.

4. EXEMPLE N°2.

4.1. OPTION : LOCATION DE 1 BOUTEILLE.

- autonomie :

$$50 \text{ kg}/0,2 = 250 \text{ jours.}$$

- coût annuel :
 - . consigne d'une bouteille : 1 200 FHT
 - . location (au delà du 60^e jour) :
 - (250 - 60) x 3,30 = 627 FHT
 - . consommation de Cl₂ :
 - 0,2 kg/j x 365 j x 5,98 FHT = 436 FHT

- coût du kg de chlore (consigne comptée sur la 1^{ère} année)
 - . 1^{ère} année :
 - $\frac{2\ 263\ \text{FHT}}{0,2 \times 365} = 31\ \text{FHT/kg (hors transport)}$
 - . les années suivantes (en francs constants)
 - $\frac{1\ 063\ \text{FHT}}{0,2 \times 365} = 14,56\ \text{FHT/kg (hors transport)}$.

4.2. OPTION : ACHAT D'UNE BOUTEILLE.

- autonomie :
 - 50 kg/0,24 + 250 jours.

- coût annuel :
 - . achat, 1 575 FHT
 - . contrôle Mine :
 - (221 + 176)/5 = 80 FHT
 - . vérification bouteille : moyenne : 1 1/2/an, soit 62 FHT
 - . consommation de Cl₂ 436 FHT

- coût du kg de chlore (achat compté sur la 1^{ère} année)
 - . 1^{ère} année
 - $\frac{2\ 153\ \text{FHT}}{0,2 \times 365} = 29,50\ \text{FHT/kg (hors transport)}$
 - . les années suivantes (en francs constants)
 - $\frac{578\ \text{FHT}}{0,2 \times 365} = 7,92\ \text{FHT/kg (hors transport)}$.

4.3. CONCLUSION.

Dans le cas de très faibles consommations, l'utilisateur a nettement intérêt à acheter la bouteille et non pas à la louer.