

Economies en stérilisation : l'eau ou l'électricité ?

par Dominique Goulet, Praticien hospitalier, Stérilisation Hôpital Edouard Herriot – 69437 Lyon Cedex 03

Remerciements

Mr Emmanuel RICHARD, Ingénieur, Direction des Affaires Techniques, Hospices Civils de Lyon, 49 Rue Villon, 69 373 Lyon cedex 08, pour la collaboration étroite apportée à la rédaction de cet article.

Mr Olivier BERTOLINI, Ingénieur, GETINGE France SAS, Immeuble le Portant - 152 Grande Rue de Saint Clair, 69 300 Caluire, pour la réalisation et l'autorisation de publication du schéma du système échangeur Eco-System Getinge.

Mr Jean-Luc CLAVEL (Belimed), Mr Serge BENEZECH (Matachana) et Mr Eric SAUVETRE (Aldor-Dechosal) pour la transmission des données sur les systèmes économiseurs d'eau.

Introduction

Les stérilisateurs à la vapeur d'eau sont de très gros consommateurs d'eau et d'électricité. Pour frapper tout de suite les esprits, était installé, dans les années 85, dans la Stérilisation Centrale de l'Hôpital Edouard Herriot de Lyon, un stérilisateur de volume utile de 1000 litres (= 15 paniers), consommant 96 kWh, 1200 litres d'eau par cycle pour la pompe à vide, soit l'équivalent d'une piscine de moyenne taille remplie (ou vidée?) en une semaine de travail, à lui tout seul.

Les prévisions écologiques pessimistes aidant, les fabricants de stérilisateurs se sont attelés à trouver des solutions énergétiques et consommatrices de moins en moins gourmandes.

Parmi celle-ci, la réalisation d'économiseurs d'eau pour les pompes à vides représentent

un concept attirant, mais qu'en est-il vraiment ?

Economies en matière d'électricité

Un stérilisateur à la vapeur d'eau est et restera toujours un gros consommateur d'énergie, que cette dernière soit apportée sous forme de vapeur, avec un échangeur, ou par électricité: on aura toujours besoin de 539 kcal/kg d'eau pour transformer cette dernière en vapeur.

Le chauffage de la masse des parois et canalisations est un facteur de consommation.

Le système permettant d'obtenir le vide est également un gros consommateur d'électricité lorsqu'il s'agit d'une pompe à anneau d'eau (en général, pompe de 4 à 6 CV, consommant de l'ordre de 1,3 kWh pour un cycle. Les systèmes à effet Venturi, équipant les stérilisateurs Matachana, ne consomment pas d'électricité par eux-mêmes, mais consomment une quantité d'eau supérieure à celle nécessaire au fonctionnement des pompes à anneau d'eau. Pour un stérilisateur 8 paniers, tout électrique, la consommation d'électricité est de l'ordre de 12 à 17 kWh par cycle pour un stérilisateur fonctionnant avec une pompe à anneau d'eau, et de façon surprenante, 20 kWh pour un stérilisateur fonctionnant avec un système Venturi. Les coûts respectifs sont de l'ordre de 1,20 € à 1,60 € (coût du kWh aux Hôpitaux de Lyon: 0,08 € TTC). C'est dans le domaine de l'énergie électrique que les économies seront le moins spectaculaires, car le phénomène de transformation de l'eau en eau à ébullition, puis

de l'ébullition à la vapeur est un phénomène physique immuable: il faudra toujours 539 kcal pour transformer un kilo d'eau en un kilo de vapeur.

Lorsque l'alimentation est électrique, des économies peuvent être obtenues en jouant sur trois points interdépendants: réserve de vapeur/isolation du système générateur, performance/rendement des «épingles» et gestion de l'alimentation de ces épingles:

- résistances chauffantes («épingles») très réactives, à meilleur rendement, de forte puissance, mais fonctionnant en alternance en fonction des besoins;
- réserve de vapeur moins élevée dans le générateur (générateurs de petites capacités, maintenus à une pression peu supérieure à celle de la cuve), tout en ne perdant pas de vue que désormais, la double enveloppe constitue, elle, la grande réserve de vapeur. Vu la réactivité des résistances actuelles, la pression «de veille» est quasiment égale à celle de la cuve pour certains appareils;
- isolation du générateur, de la cuve et des canalisations de bien meilleure qualité, actuellement.

Economies en consommation d'eaux

Il faut bien distinguer les deux catégories d'eau qui sont utilisées dans un stérilisateur:

- l'eau servant à alimenter le générateur: c'est de l'eau osmosée qui sera transformée en vapeur. La consommation est d'environ 25 litres pour un stérilisateur 8 paniers. Les condensats sont le plus

souvent récupérés par le biais des purgeurs.

- l'eau servant à alimenter le système de réalisation du vide.

La qualité du vide est l'un des éléments clés d'une « bonne stérilisation », et du fait du principe de fonctionnement de ces dispositifs de réalisation du vide, des quantités d'eau sensiblement équivalentes entre vide obtenu par effet Venturi, et vide obtenu par pompe à anneau d'eau sont consommées. A titre d'exemple, pour un stérilisateur 8 paniers, la consommation sera de :

- 260 litres pour une pompe à anneau d'eau,
- 300 litres pour dispositif de vide à effet Venturi.

L'idéal serait de pouvoir recycler la totalité de l'eau utilisée pour réaliser le vide, quel que soit le système.

Les lois de la physique étant immuables et universelles, quelque soit le parti politique du pays, la qualité du vide varie en sens inverse de la température de l'eau utilisée. Ainsi pour obtenir un vide de bonne qualité, la température de l'eau ne doit pas excéder 20 à 30 degrés. La tension de vapeur de l'eau à 10°C est de 13 mbar, 23 mbar à 20°C, 74 mbar à 40°C, 199 mbar à 60°C...)

On ne peut donc pas recycler l'eau qui a été en contact de la vapeur, ou, tout au moins, qu'en quantité limitée (ce qui a cependant permis de réduire la consommation d'eau d'au moins 30%, avec les stérilisateurs de récente génération : il y a 25 ans, un stérilisateur 8 paniers consommait de 450 L à 600 L d'eau par cycle, contre 250 à 300 L maintenant).

* Les systèmes économiseurs d'eau

Des systèmes économiseurs d'eau sont récemment apparus sur le marché chez certains fournisseurs : BELIMED, CISA, GETINGE, MATACHANA.

Principe de fonctionnement

Il est très simple : utiliser de l'eau refroidie, en boucle, au moyen d'un échangeur équipant le stérilisateur raccordé sur le « réseau d'eau glacée » de l'établissement, ou à un générateur autonome.

Ainsi, la consommation réelle d'eau pur effectuer le vide devient théoriquement nulle ; en pratique, elle est de l'ordre de 5 à 10 L/cycle.

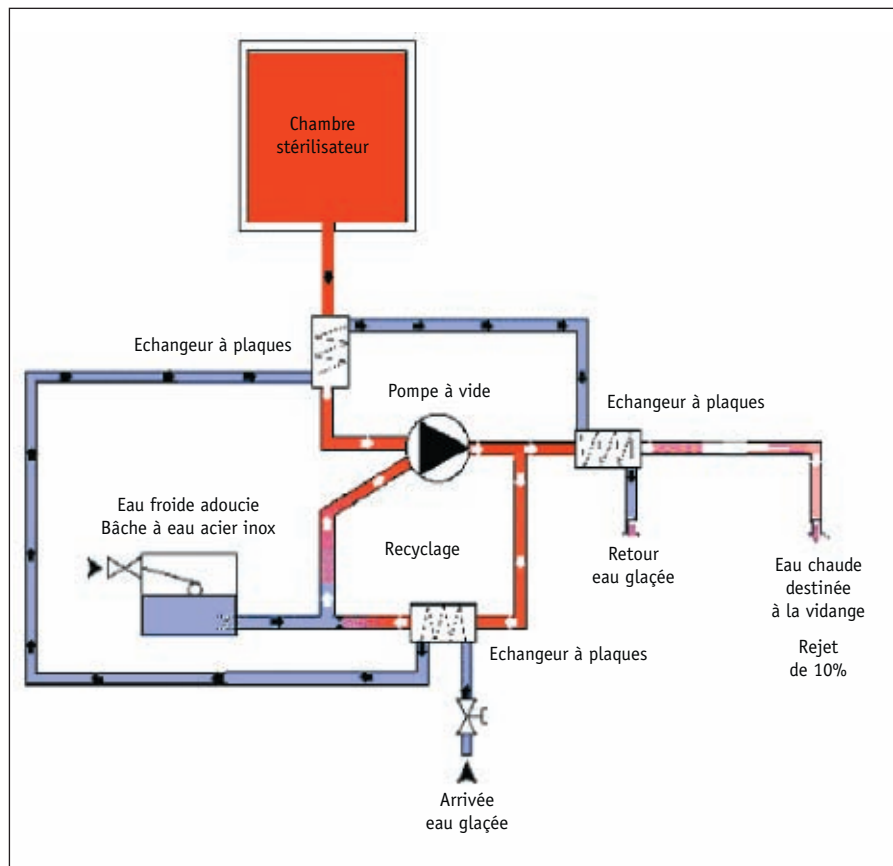


Fig. 1 Principe de fonctionnement d'un système économiseur d'eau (ECO SYSTEM Getinge).

Tableau 1 Systèmes existant sur le marché, caractéristiques et performances pour un stérilisateur 8 paniers.

	FABRICANT A	FABRICANT B	FABRICANT C	FABRICANT D
Fonctionnement autonome ou échangeur à raccorder sur circuit eau glacée	Echangeur	Echangeur	Echangeur sur circuit fermé ; raccordement au réseau de prod. d'eau glacée, ou générateur autonome	Echangeur sur circuit fermé ; raccordement au réseau de production d'eau glacée, ou générateur autonome
Température d'eau souhaitée	10°C environ	7 à 9°C	4 à 12 °C	5°C
Coût acquisition et d'installation de l'échangeur	2000 € HT + montage = 3200 € TTC	1924 € HT dont 800 € HT pour l'échangeur = 2300 € TTC	2037 € HT + 9000 € HT pour le syst. de production d'eau = 11 037 € TTC	2631 € TTC pour raccordement à circuit, ou 3 588 € TTC pour syst. autonome
Durée de vie de l'échangeur	Environ 7 ans	3 à 5 ans	15-20 ans	10 à 15 ans Syst. autonome : 7-8 ans
Durée de l'amortissement estimée du groupe froid (production eau glacée)	Environ 12 ans	Selon l'amortissement du groupe froid	Supérieure à 10 ans	< 1an
Coût annuel de l'entretien		Echangeur 800 € HT tous les 3 à 5 ans	Non renseigné	98 € HT

Tableau 1 Systèmes existant sur le marché, caractéristiques et performances pour un stérilisateur 8 paniers (suite et fin).

	FABRICANT A	FABRICANT B	FABRICANT C	FABRICANT D
Consommables	Non	Non	Non renseigné	Non, sauf pour le syst. autonome: remplacement gaz ts les 3-4 ans: 350 € HT, soit 139 € TTC/an environ
Energie thermique extraite par le groupe de production froid, par cycle	2 kWh	5 kWh	3 kWh	0,83 kWh
Consommation d'eau (partiellement adoucie) par cycle pour le système de vide	5 L soit 0,012 €	10 L, soit 0,025 €	10 L, soit 0,025 €	< 5 L, soit 0,012 €
Consommation d'eau par cycle pour le système de vide pour un stérilisateur non équipé d'un économiseur d'eau	260 L soit 0,585 €	300 L soit 0,675 €	300 L soit 0,675 €	235 L, soit 0,562 €
Coût de la consommation électrique moyenne par cycle (chauffage + système de vide)	1,36 €	1,04 €	1,60 €	1,16 €

Tableau 2 Evaluation du prix de revient de ces systèmes économiseurs d'eau.

	FABRICANT A	FABRICANT B	FABRICANT C	FABRICANT D
Coût eau + électricité sans système échangeur	Eau: 0,585 € Electricité: 1,36 € Total: 1,94 €/cycle, soit 5830 €/an	Eau: 0,675 € Electricité: 1,04 € Total: 1,715 €/cycle, soit 5145 €/an	Eau: 0,675 € Electricité: 1,60 € Total: 2,275 €/cycle, soit 6825 €/an	Eau: 0,562 € Electricité: 1,60 € Total: 2,162 €/cycle, soit 6486 €/an
Coût annuel eau + électricité avec système échangeur	Eau: 0,012 € Electricité: 1,36 + 0,064 € Total: 1,436 €/cycle, soit 4308 €	Eau: 0,025 € Electricité: 1,04 + 0,16 € Total: 1,225 €/cycle, soit 3675 €	Eau: 0,025 € Electricité: 23 x 0,08 = 1,84 € Total: 1,865 €/cycle, soit 5595 €	Système raccordé: Eau: 0,012 € Electricité: 1,36 + 2,65 = 1,39 € Total: 1,402 €/ cycle soit 4206 € Système autonome: Eau: 0,012 € Electricité: 1,36 + 0,07 = 1,43 € Total: 1,442 €/ cycle soit 4326 €
Coût annuel de l'amortissement de l'échangeur	456 €	200 €	120 €	131 €
Coût annuel de l'amortissement du surdimensionnement de la centrale de production d'eau glacée ou du générateur autonome	Sur 20 ans: 100 € Sur 12 ans: 166 €	Sur 20 ans: 250 € Sur 12 ans: 416 €	Sur 20 ans: 450 € Sur 12 ans: 750 €	Sur 20 ans: 54 € Sur 12 ans: 81 €
Coût annuel de la maintenance	30 €	75 €	Non renseigné	117 €
Coût annuel total avec système économiseur d'eau	4867 € à 4933 €	4200 € à 4366 €	> 6165 € à > 6465 €	> 4443 € à > 4535 €

Le tableau 1 présente les systèmes existant sur le marché, et les caractéristiques et performances pour un stérilisateur 8 paniers.

Consommation électrique et coût des systèmes économiseurs d'eau

Nous nous baserons sur une hypothèse de consommation par cycle de 1 kWh (énergie thermique), et 1 cycle par heure; la consommation horaire sera donc de 1kWh (énergie thermique également).

Le surdimensionnement induit sur les équipements de production et de distribution de froid doit par conséquent être de + 1kW (puissance thermique).

Le coût des équipements de production de froid de grosse capacité, y compris la boucle d'eau glacée et l'installation est d'environ 1000 € TTC/kW (puissance thermique); sa durée de vie est estimée de 12 à 20 ans maximum.

Le coût de maintenance annuel est de l'ordre de 15 € TTC/kW.an.

Le coût de la consommation électrique pour extraire 1 kWh (thermique) est de $1/2,5 \times 8 = 3,2$ c€ TTC ($2,5 =$ Coefficient de Performance des équipements de production et de distribution du froid – COP=2,5 signifie que pour extraire 1kWh thermique il faut dépenser 0,4 kWh électrique).

Suivant cette hypothèse (1 kWh consommé par cycle) le surcoût du surdimensionnement du système de production pour assurer le refroidissement d'un autoclave est de 1000 € TTC. Pour un amortissement sur 20 ans, le surcoût du surdimensionnement est de 50 € TTC/an. Sur 12 ans, il serait de 83 € par an. Le surcoût de la maintenance annuelle du système de production pour assurer le refroidissement d'un autoclave est de 15 € TTC/an.

La consommation électrique s'élève à 3,2 c€/cycle.

Il est à noter que les équipements de production de froid ne consomment pas d'eau. Le bilan final est le suivant, sur la base de 10 cycles par jour, 300j/an (tab. 2).

Discussion

Sur le plan économique

Le tableau 1 montre que toute évidence, le coût en consommables eau/électricité est en faveur du système économiseur d'eau. Par contre, l'amortissement du système échangeur, ainsi que celui du système de production d'eau glacée conduit à relativiser ces avantages apparents (tab. 2).

En effet, la durée d'amortissement (considérée comme la durée de vie) des systèmes de production de froid est donnée pour environ 12 ans par les fabricants des équipements. En réalité, ces installations ont une durée de vie plus longue (15 à 20 ans). Dans le calcul des coûts d'investissement, les réseaux de distribution d'eau glacée ont été intégrés. Ces canalisations ont une durée de vie supérieure à 20 ans. En considérant ces deux éléments de calcul, on peut justifier 20 ans.

Les coûts restent malgré tout nettement en faveur des systèmes économiseurs d'eau, même pour le fabricant C qui a un coût de fonctionnement, avec ou sans économiseur d'eau, très supérieur à celui des autres.

Sur le plan de la performance des stérilisateurs

Plus l'eau est froide, meilleur est le niveau de vide obtenu.

La nette supériorité revient au système économiseur d'eau, qui est capable, été comme hiver, de garantir un niveau constant de qualité de vide, ce qui peut être important en fonction de sa position géographique, sans vouloir aller jusqu'à prétendre que le vide est meilleur à Lille qu'à Marseille!

Sur le plan «développement durable»

Vaut-il mieux consommer de l'électricité ou consommer de l'eau?

Il faut considérer que de toute façon, l'alimentation en eau s'accompagne toujours d'une consommation d'électricité.

En effet l'eau est généralement délivrée à une pression de 3 bars (~30 m de Colonne d'Eau) ou plus au point de branchement sur le réseau public. Au préalable, il a fallu la pomper, le plus souvent dans la nappe phréatique et l'acheminer sur plusieurs kilomètres jusqu'au point de consommation. Partons des hypothèses que l'eau est pompée à 30 m de profond, que les pertes de charge dans les réseaux sont de l'ordre de 1 bars (~10 mètres de colonne d'eau (mCE)) et que la pression au point de consommation est de 4 bars.

Il faut, suivant ces hypothèses, «pousser» l'eau à 80 mCE (8 bars) pour la pomper, l'acheminer et la délivrer au point de consommation. L'énergie hydraulique nécessaire correspondante est de: $80 \text{ m} \times 10.000 \text{ N/m}^3 = 8.10^5 \text{ Joules/m}^3$

Sachant que les pompes électriques ont un

rendement de l'ordre de 45% et que $1 \text{ kW.h} = 3,6.10^6 \text{ Joules}$, il faut près de $0,5 \text{ kWh/m}^3$ d'énergie électrique.

Cette évaluation de l'énergie consommée pour produire 1 m^3 d'eau dans ces conditions n'est pas complète. Il faudrait aussi prendre en compte le traitement d'eau usée, l'énergie pour construire les réseaux... Cependant, on peut penser que l'énergie nécessaire au traitement de l'eau reste faible par rapport à l'énergie nécessaire à la production. Cela est d'autant plus vrai que l'eau à la sortie des autoclaves est pure et que les réseaux (égouts) sont en règle générale de type gravitaire. Quand à la construction des réseaux, du fait que nous cherchons à faire une comparaison entre consommer de l'eau ou consommer de l'électricité on peut émettre l'hypothèse simplificatrice que les impacts environnementaux des réseaux d'eau et des réseaux d'électricité sont équivalents.

Ainsi, on peut estimer que la consommation de 250 litres d'eau potable induit la consommation d'environ $0,125 \text{ kWh}$ d'électricité, ce qui est sans commune mesure avec l'énergie consommée pour refroidir l'eau.

Par ailleurs, si l'on avait voulu être exhaustif dans la comparaison de la consommation d'énergie, il aurait fallu étendre l'étude au système de production de vapeur à l'aide de(s) chaudière(s) gaz. Les comparaisons deviennent alors encore plus difficiles à faire. Quelques éléments d'analyse permettront de guider une démarche: le rendement des chaudières gaz et réseau vapeur est de l'ordre de 90%, le coût de kWh gaz: de l'ordre de 4 c€ TTC . Mais le coût d'investissement est élevé, et les contraintes de maintenance et d'exploitation ne sont pas négligeables.

Pour tenter de répondre à la question «Vaut-il mieux consommer de l'électricité ou consommer de l'eau?», il n'était pas possible de s'adresser préférentiellement à un organisme spécialisé dans l'eau ou dans l'électricité, car la question fait appel à des compétences dans des sujets a priori sans point commun.

Nous nous sommes tournés vers des organisations écologistes

- La France en action
- Ministère de l'écologie, du développement et de l'Aménagement Durables
- Greenpeace
- Les verts

- Fondation Nicolas Hulot
- Génération écologie
- Mouvement Ecologiste Indépendant d'Antoine Wechter
- C.I. Eaux
- WWF

en leur posant les questions suivantes:

«sur le plan écologique seul, vaut-il mieux consommer de l'électricité à raison de 24 kW et 120L d'eau par autoclave/jour, que consommer 3600 litres d'eau par autoclave et par jour? Vaut-il mieux consommer de l'électricité, ou de l'eau?»

Seuls ont répondu:

- Greenpeace: la question n'a pas trait à ses enjeux globaux. Des adresses de sites à consulter ont été fournis.
- Le Ministère de l'Ecologie, pour nous orienter vers l'Agence de l'environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (qui n'a pas répondu). Une réponse par téléphone d'une responsable d'un Comité de l'eau a été faite, pour dire qu'il n'est pas possible de répondre, mais il faut considérer que l'eau est une énergie totalement renouvelable.
- Mr J.F. Perard, du groupe «La France en action», pour nous orienter vers d'autres organismes tels que WWF.

Il se dégage des discussions avec les personnes qui ont répondu:

- L'électricité est une énergie très consommatrice de ressources non renouvelables. Le cas de l'électricité nucléaire doit être considéré à part; une organisation nous a demandé d'où venait principalement l'énergie électrique dans la région lyonnaise: nucléaire ou pas, ce qui permet de s'orienter vers ce type d'énergie.

Ainsi, selon le pays dans lequel on vit permet de donner une orientation différente de celle de son voisin; la part du nucléaire dans la production d'électricité est:

- France: 78,5%
- Belgique: 55,6%
- Suisse: 32,1%
- Allemagne: 31,1%
- UK: 19,9%
- Espagne: 19,6%
- Italie 0%
- L'eau est une ressource renouvelable L'eau utilisée dans les stérilisations

n'est pas consommée, et rejoint le cycle de l'eau.

A titre d'information et en complément des éléments donnés par les « organisations environnementales », lorsque 1 kWh d'électricité est consommé, il a fallu 0,2 à 0,3 kWh pour l'acheminer jusqu'au point utilisateur (pertes sur les réseaux) et environ 3,6 kWh pour le produire (machine thermique) soit au total près de 4 kWh d'énergie fossile, nucléaire ou biomasse. S'il s'agit d'une énergie éolienne ou hydraulique, les rendements de production sont bien meilleurs.

Le nucléaire présente l'avantage de générer peu de gaz à effet de serre, mais génère des déchets radioactifs.

Le choix n'est évident pour personne sur le plan écologique.

Alternative: une pompe à vide fonctionnant sans eau

A tout récemment été mis sur le marché un stérilisateur fonctionnant avec une pompe à vide ne nécessitant pas l'utilisation de l'eau: en novembre 2007, la société CISA (représentée par la société Aldor-Dechosal, en France) présentait son nouveau stérilisateur « AQUAZERO ».

La description qu'en donne le fabricant est la suivante: « le système de vide a été développé à partir d'une pompe à palette à huile, déjà utilisé par CISA sur le stérilisateur à basse température à plasma. Ce type de pompe permet d'atteindre des vides dont la valeur avoisine 1 mbar. Mais, dans le cas du stérilisateur à la vapeur d'eau, il est impossible d'envisager le mélange de l'air ou air-vapeur ou vapeur avec l'huile contenue dans la pompe.

CISA a développé un système – similaire à un ballast – qui interdit tous les contacts entre les éléments ci-dessus mentionnés; l'huile spéciale de la pompe, à haute densité, atteint des températures de l'ordre de 134°C pendant le cycle; l'énergie libérée chauffe l'air comprimé contenu dans le ballast. L'élément (l'air, ou le mélange air/vapeur ou la vapeur) aspiré dans la chambre par la pompe traverse le ballast, dont la fonction primaire est la (re)vaporisation des gouttelettes d'eau qui pourraient être en suspension dans l'élément aspiré, et ainsi, il n'a jamais contact avec l'huile.

Par ailleurs, l'élément extrait de la chambre, ayant été réchauffé par son passage dans le

ballast, à une température proche de 130°C, est évacué vers un échangeur; de même, les condensats de vapeur extraits de la double enveloppe, du séparateur de vapeur et de la chambre, par les purgeurs, sont recyclés vers un second échangeur.

Les deux échangeurs sont montés dans un réservoir étanche contenant l'eau osmosée destinée au générateur de vapeur; les échanges thermiques portent l'eau osmosée à la température de 60°C avant son introduction dans le générateur. Par conséquent, on évite les chutes de rendement du générateur à chacun de ses remplissages, et on économise de l'énergie par le différentiel – eau à 60°C et eau à 20°C ou 25°C (réseau classique).

Les performances du système de vide permettent de réduire la phase de pré-traitement et la phase de post-traitement d'un cycle de stérilisation; il en découle les résultats mentionnés ci-dessous (pour un stérilisateur 8 paniers, générateur de vapeur 45 Kw):

Tableau 3 Comparaison entre un stérilisateur « classique » CISA et le stérilisateur AQUAZERO.

	Stérilisateur « classique »	Stérilisateur Aquazero
Durée du cycle	70 min	50 min
Consommation électricité	14,5 kW	8,2 kW
Consommation eau adoucie	225 L	0 L
Dissipation calorifique	2500 W	1980 W

Tableau 4 Comparaison entre un stérilisateur « classique » CISA et le stérilisateur AQUAZERO.

	Stérilisateur « classique »	Stérilisateur avec économiseur d'eau	Stérilisateur Aquazero
Coût en électricité/cycle			0,656 €
Coût en eau/cycle			0,58 €
Coût annuel consommation en eau et électricité	6486 €	> 4443 € à > 4535 €	3708 €

A l'ensemble des gains environnementaux et de production générés par l'AQUAZERO, il convient d'ajouter ceux liés à la maintenance; en effet, un nombre important de composants ont disparu des circuits hydrauliques comme le condenseur, des vannes pneumatiques, des clapets, une pompe... Une évaluation sommaire des coûts montre les économies considérables qui peuvent ainsi être générées annuellement, sur les mêmes bases que celles utilisées précédemment (tab. 4).

Le manque total de recul de ce nouveau système ne permet pas de se faire une idée sur la fiabilité du système, mais l'avantage sur le plan des consommations est évident.

Conclusion

Eau ou électricité, le problème réel ne se pose finalement peut-être pas ainsi, et c'est sur un plan plus pragmatique qu'il faut se situer.

Sur le plan écologique, les deux questions complémentaires qui se posent, et que posent en pratique les fabricants d'autoclaves est en fait:

- travaillez-vous dans un pays ou une région qui risque de manquer d'eau, de subir des restrictions d'eau?
- l'approvisionnement en énergie électrique pose-t-il ou risque-t-il de poser un problème?

Pour la construction de la Stérilisation Centrale des Hospices Civils de Lyon, il a été répondu non aux deux questions.

Sur le plan économique, la différence est en nette faveur des systèmes économiseurs d'eau, mais devant le manque total de recul de ces systèmes, les données qui étaient alors non totalement connues, et l'importance des enjeux, les Hôpitaux de Lyon ont préféré ne pas se lancer dans l'aventure dans l'immédiat, mais montrent un grand intérêt pour de tels systèmes pour l'avenir.

Et si l'avenir était uniquement vers les pompes ne consommant pas d'eau? ■