

Document Number	Rev.	Page
MKT-DOS-005-00-FR	0	1/19

# Traitement physique de l'eau

## Résumé

Le traitement électromagnétique de l'eau a été longtemps décrié et peu reconnu. Or actuellement grâce à l'apparition d'appareils de plus en plus efficaces il acquiert une place croissante parmi les technologies de traitement de l'eau. Cet article décrit le contexte scientifique de ce traitement physique puis donne un aperçu de l'influence d'un traitement électromagnétique sur certaines applications spécifiques telles que l'entartrage, la corrosion ou le développement de biofilms. Cette nouvelle approche économiquement intéressante et respectueuse de l'environnement a un avenir prometteur et de nouvelles applications suivies par les universités voient aujourd'hui le jour.

## Keywords

Traitement d'eau – électromagnétique – calcaire - corrosion

### 1 Introduction

Cela fait environ 25 ans que les premiers appareils de traitement physique de l'eau avec des champs magnétiques sont apparus sur le marché pour résoudre des problèmes d'entartrage des tuyauteries. Leur fonctionnement était souvent expliqué de la manière suivante : un ou plusieurs aimants sont installés autour d'une conduite d'eau, l'eau coule à l'intérieur des conduites et traverse ces champs magnétiques, le calcaire dans l'eau change alors de structure cristalline.

L'observation de ces résultats ne peut pas être niée. Mais force est de constater que ces systèmes n'ont pas toujours eu l'effet promis et souhaité. Les experts, intéressés au début par cette technologie, sont devenus sceptiques et se sont progressivement désintéressés du procédé.

Prenons l'exemple de l'aviation : les premiers avions construits se sont tous écrasés, et le plus souvent avec leurs inventeurs. Mais aujourd'hui les avions volent et ne s'écrasent plus car l'ingénierie aéronautique est devenue performante. Il en va de même pour le traitement électromagnétique de l'eau. En effet, depuis plusieurs années déjà on trouve des appareils sérieux sur le marché. Les

Document Number	Rev.	Page
MKT-DOS-005-00-FR	0	2/19

utilisateurs soucieux de leur santé et de l'aspect écologique préfèrent aujourd'hui consommer une eau sans additifs chimiques.

Avec les nouveaux développements de ces systèmes, de nouvelles applications autres que la seule résolution des problèmes d'entartrage apparaissent. C'est le cas notamment de la prévention de la corrosion des conduites et de l'élimination des biofilms.

## 2 Contexte scientifique

### 2.1 Le traitement électromagnétique

Les champs électriques sont associés à la présence de charges positives ou négatives. L'intensité d'un champ électrique se mesure en volts par mètre (V/m).

Les champs magnétiques sont provoqués par le déplacement de charges électriques (c'est-à-dire le mouvement des électrons). L'intensité d'un champ magnétique se mesure via sa densité de flux magnétique, qui s'exprime en teslas.

Une onde électromagnétique est l'association d'un champ électrique et d'un champ magnétique. Ces deux champs varient dans le temps et se propagent dans l'espace à la vitesse de la lumière avec leurs composantes distantes de 90° (Fig. 1).

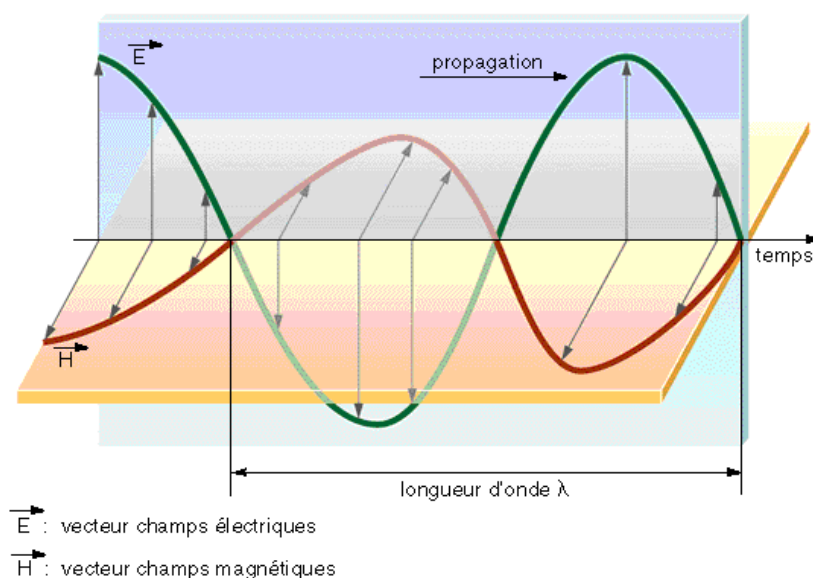
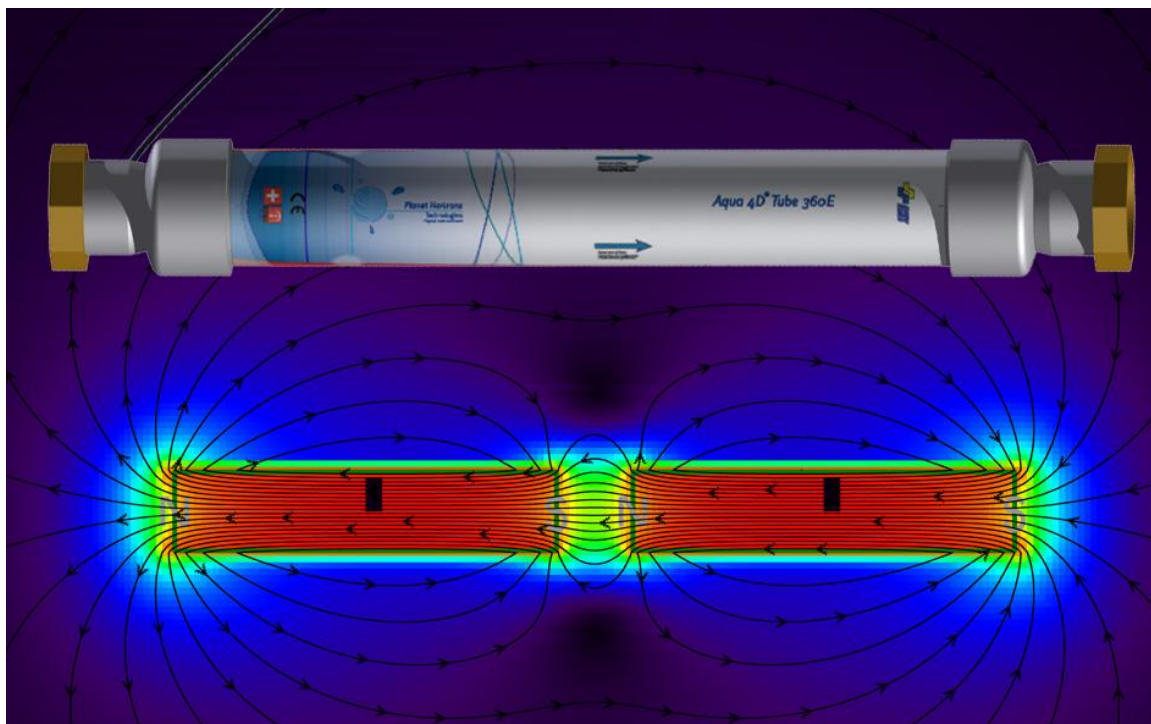


Fig. 1 Modélisation d'une onde électromagnétique

Document Number	Rev.	Page
MKT-DOS-005-00-FR	0	3/19

Les traitements physiques les plus efficaces sont constitués de solénoïdes (bobines de cuivre de plusieurs milliers de spires) disposés et isolés à l'intérieur d'un tube (figure 2).



**Fig. 2** Tube de traitement avec modélisation des champs électromagnétiques

L'eau est en contact du champ électromagnétique le plus intense lorsqu'elle se trouve au niveau des solénoïdes. L'action des ondes électromagnétiques se propage à l'intérieur du réseau d'eau tant qu'il n'y a pas de coupure (vanne d'arrêt, réducteur de pression lorsqu'il n'y a pas de débit, etc.). Cela explique l'action d'un traitement électromagnétique sur de longues distances, l'efficacité pouvant être maintenue sur l'ensemble d'un réseau d'eau communal. Pour un traitement optimal un certain nombre de facteurs entrent en jeu dont la conception du réseau et l'environnement extérieur, et cela nécessite une étude d'ingénierie.

Si nous approfondissons encore un peu plus et étudions la physique quantique, nous constatons qu'il est également important de travailler avec les bonnes fréquences. Car la gamme de fréquence dans l'application d'une onde électromagnétique est presque illimitée et son choix est primordial pour

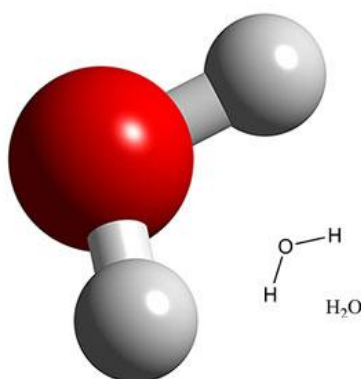
Document Number	Rev.	Page
<b>MKT-DOS-005-00-FR</b>	0	4/19

obtenir l'effet désiré. La physique quantique (physique ondulatoire) et notamment des relations d'Einstein et de De Broglie nous ont appris qu'il est possible de calculer les fréquences de résonance de différents éléments (atomes, particules). La physique quantique montre que nous pouvons représenter les choses soit comme des ondes soit comme des particules. Or, il est d'une part possible de calculer les fréquences de résonance de ces particules, et il est d'autre part reconnu que chaque champ électromagnétique a une influence sur son environnement, où le phénomène de résonance joue un rôle majeur et permet à un élément de réagir à un autre même si en termes d'énergie, ces échanges sont extrêmement faibles. Ceci est d'ailleurs correctement décrit dans une publication assez récente (2003) sur une construction mathématique se proposant d'expliquer les mécanismes d'amplification biologique à l'aide d'un modèle utilisant des champs électromagnétiques de l'ordre du picotesla [1].

De même, les bonnes intensités sont décisives. Un champ électromagnétique trop faible n'a presque pas d'effet, un champ trop fort peut provoquer l'effet inverse. Une image de vulgarisation évidente pour cela est celle de la chanteuse d'opéra avec le verre en cristal. Lorsqu'elle trouve la fréquence du verre en cristal, elle commence à faire vibrer ce verre, puis lorsqu'elle augmente l'intensité de cette vibration elle peut aller jusqu'à briser le verre.

## 2.2 L'eau

La molécule  $H_2O$  est le plus petit élément constituant de l'eau et a une forme en V. D'un côté du V il y a l'oxygène chargé négativement (en rouge sur la Fig. 3), et de l'autre 2 hydrogènes chargés positivement (en blanc sur la Fig. 3).



**Fig. 3** Représentation d'une molécule d'eau

Document Number	Rev.	Page
MKT-DOS-005-00-FR	0	5/19

Cette molécule est donc une molécule dite polaire et possède ainsi des caractéristiques de dipôle. Cette polarité est une propriété extrêmement importante de la molécule d'eau. A une petite échelle cela est similaire à un aimant avec une orientation dépendant des charges environnantes (Fig. 4).

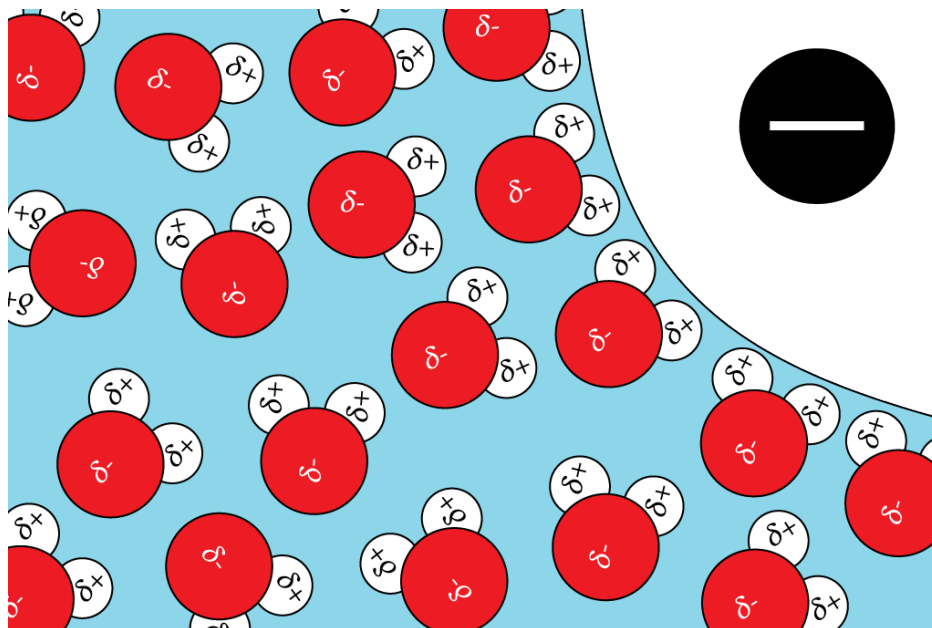


Fig. 4 Orientation des molécules d'eau autour d'une charge négative

Un champ électromagnétique a une influence sur un dipôle. Tous les scientifiques s'accordent aujourd'hui sur le fait que les aimants ou les champs électromagnétiques influencent l'eau. La grande question qui se pose est de savoir quelles sont les conséquences de cette influence et si cette influence est stable dans le temps et avec la distance. La même question se pose aussi pour tout traitement chimique.

Une autre propriété extrêmement importante de la molécule d'eau est la faculté de créer des liaisons hydrogène. Des liaisons peuvent en effet se former entre les molécules d'eau car ce sont des molécules polaires et les charges de signes contraires s'attirent. Ces liaisons, dues à la polarité, s'établissent entre les atomes d'hydrogène de certaines molécules d'eau et les atomes d'oxygène des molécules d'eau voisines. On les appelle des "liaisons hydrogène" (Fig. 5).

Document Number	Rev.	Page
MKT-DOS-005-00-FR	0	6/19

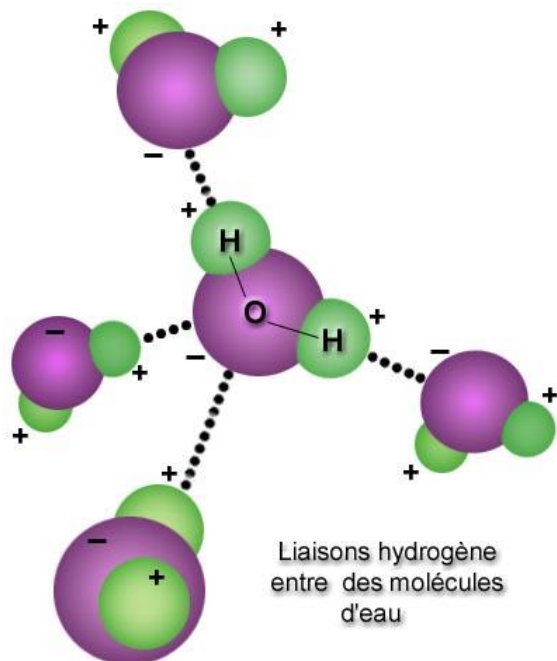


Fig. 5 Liaisons hydrogène entre des molécules d'eau

Les molécules d'eau s'associent les unes aux autres sous la forme de paquets de grande taille qui se font et se défont en permanence sous l'agitation thermique. Ces groupements de molécules d'eau sont appelés "clusters".

L'eau est le seul liquide à développer un aussi grand nombre de ces liaisons hydrogène qui jouent un rôle extrêmement important en lui conférant des propriétés très particulières.

L'énergie de formation de la liaison hydrogène est de l'ordre des énergies mises en jeu dans les fluctuations thermiques à la température ambiante (27° Celsius). Aussi, de telles liaisons peuvent-elles se tordre, se rompre ou se restaurer à cette température. Cette propriété donne aux architectures moléculaires assemblées par liaisons hydrogène, souplesse et possibilité d'évoluer à la température ambiante, ce que ne peuvent faire les liaisons de valence (entre les atomes d'une même molécule), beaucoup trop énergétiques et donc complètement rigides à cette même température. Or, cette souplesse et ces possibilités d'évolution sont indispensables aux molécules biologiques. C'est aussi cette souplesse de la liaison hydrogène et la grande polarité de la molécule d'eau qui vont, par exemple, permettre à l'eau de construire autour d'un ion un écran de molécules H<sub>2</sub>O souple, résistant et couvrant tout l'espace autour de cet ion. Cet écran empêche cet ion de se combiner à nouveau avec des ions de signe opposé et le maintient "dissous" au sein de l'eau.

Document Number	Rev.	Page
<b>MKT-DOS-005-00-FR</b>	0	7/19

## 2.3 Le traitement électromagnétique de l'eau

En quoi tout cela est-il en rapport avec le traitement physique de l'eau?

Ces précédentes propriétés de l'eau sont très importantes et un traitement électromagnétique a une influence directe sur celles-ci. Ce traitement peut conduire à un certain nombre de modifications physiques de l'eau (taille des clusters, orientations des molécules, etc.) ou de modifications dans son comportement avec les autres molécules ou ions présents dans l'eau : capacité de dissolution, interactions électrostatiques (ou ioniques), les interactions de Van Der Waals, les interactions hydrophobes et polaires, etc.

L'eau a une fréquence propre que l'on peut calculer précisément. De même on peut calculer les fréquences propres des éléments les plus importants présents dans l'eau, par exemple le calcium, le magnésium ou l'oxygène. Ces fréquences calculées à partir des relations de la physique quantique se retrouvent bien au-delà des Gigahertz. Il est ensuite possible de travailler dans une gamme plus basse, certains appareils utilisent par exemple la gamme 0-20 kHz avec le principe de résonance par divisions successives par 2 (ex : le DO d'un piano restera un DO quelle que soit son octave).

Pour revenir également de manière imagée sur le principe de résonance, prenons deux cordes, l'une de longueur fixe F, et une autre de longueur variable V, tendue l'une à côté de l'autre. On fait vibrer la corde de longueur F. Celle-ci émet alors une fréquence dont la valeur est inversement proportionnelle à F. Si on fait varier la longueur V de la corde voisine, celle-ci va, pour certaines valeurs repérables de V, se mettre elle aussi à vibrer, par sympathie avec la corde F. On se rend compte que ce phénomène se produit lorsque V est en "rapport simple" avec F. Par exemple, lorsque V vaut F, F/2, ou F/3. Car alors, la fréquence émise par F correspond à une des harmoniques de la fréquence qu'aurait émise V, et V réagit à cette harmonique.

C'est ce phénomène de résonance qui structure la vie et permet à un élément de réagir à un autre même si en termes d'énergie, ces échanges sont extrêmement faibles, souvent bien en dessous du bruit de fond électromagnétique ambiant.

Cela donne dans son ensemble une structure électromagnétique naturelle et caractéristique à travers l'ensemble des harmoniques et sous-harmoniques induites qui n'est pas visible (de même que pour les ondes radio ou les téléphones portables). Si des fréquences non adaptées sont émises sur l'eau, cette structure d'ondes naturelles est dérangée, ainsi que certaines caractéristiques de l'eau comme le comportement de dissolution (par exemple du calcaire ou des produits lessiviels). Ceci explique les problèmes avec les systèmes inefficaces, apparus il y a longtemps : avec des aimants posés sur les conduites, les fréquences dépendent complètement de la vitesse de l'écoulement de l'eau. Comme celle-ci varie tout le temps, le pur hasard décide si le système est efficace ou non. C'est la même chose lorsque des appareils électroniques utilisent le réseau d'électricité de 50 Hz ou d'autres fréquences choisies arbitrairement.

Document Number	Rev.	Page
<b>MKT-DOS-005-00-FR</b>	0	8/19

En plus de la notion de fréquence propre, la notion de rapport harmonique est importante concernant ces réseaux électromagnétiques. Par rapport harmonique on entend un rapport entre chiffres entiers entre 2 fréquences (ex : 3/2 ou 4/3). En calculant les fréquences de résonances des éléments naturels on constate qu'ils sont construits dans des rapports harmoniques les uns aux autres. Les plus récents appareils de traitement électromagnétique efficaces utilisent cette approche et travaillent avec 2 fréquences réglées harmoniquement.

Regardons maintenant l'influence d'un traitement électromagnétique sur certaines applications spécifiques telles que l'entartrage, la corrosion ou le développement de biofilms.

### 3 Traitement électromagnétique contre les dépôts de calcaire

Le problème des dépôts de calcaire dans les conduites d'eau ou les appareils ménagers est bien connu. Il faut savoir qu'avant de se déposer le calcaire a d'abord été dissous par l'eau. L'eau a la capacité de dissoudre certains gaz, comme le dioxyde de carbone par exemple. L'écoulement de cette eau acidifiée par la réaction avec le dioxyde de carbone sur les roches calcaires va dissoudre le calcium et le magnésium de ces roches. Sous certaines conditions, c'est ensuite la réaction inverse qui se fait, et ce sont les ions calciums ou magnésium qui réagissent avec les ions hydrogénocarbonates pour former le carbonate de calcium (ou de magnésium) communément appelé calcaire, selon la réaction chimique suivante :



Cette réaction montre bien que le départ d'une certaine quantité de  $\text{CO}_2$  déplace l'équilibre et conduit à la formation de carbonate de calcium très peu soluble. Le gaz carbonique libre est donc un facteur déterminant de l'équilibre calco-carbonique d'une eau.

Toutefois, les travaux de nombreux auteurs comme Langelier ou Riznar par exemple ont permis d'établir que d'autres facteurs jouent un rôle important, tels que la teneur en calcium (ou dureté de l'eau), l'alcalinité (TAC), le pH, la totalité des sels dissous (ou conductivité) ou la température. Afin d'étudier, et surtout de prévoir le comportement d'une eau donnée, la notion théorique du pH d'équilibre ou pH de saturation  $\text{pH}_s$  a été introduite. Il s'agit de la valeur de pH pour lequel, sans qu'il y ait de changement en ce qui concerne l'alcalinité, la teneur en calcium ou les matières dissoutes, l'eau ne dépose ni ne dissout le carbonate de calcium. Il se calcule comme suit :

$$\text{pH}_s = \text{pCa}^{2+} + \text{pAlc} + (\text{pK}_2 - \text{pK}_s)$$

où  $\text{pCa}^{2+}$  est le logarithme négatif de la concentration de calcium, exprimé en mg de  $\text{CaCO}_3/\text{L}$ ,

$\text{pAlc}$  est le logarithme négatif de l'alcalinité, exprimé en mg de  $\text{CaCO}_3/\text{L}$ ,



Document Number	Rev.	Page
<b>MKT-DOS-005-00-FR</b>	0	9/19

$pK_s$  est le logarithme négatif du produit de solubilité de  $CaCO_3$ ,

et  $pK_2$  est le logarithme négatif de la constante d'ionisation de  $HCO_3^-$ .

Le terme  $(pK_2 - pK_s)$  est fonction de la force ionique et de la température. Des nomogrammes qui établissent un rapport entre cette quantité et les paramètres mesurés de l'eau, par exemple le pH, les matières dissoutes totales, l'alcalinité et la température ont été dressés.

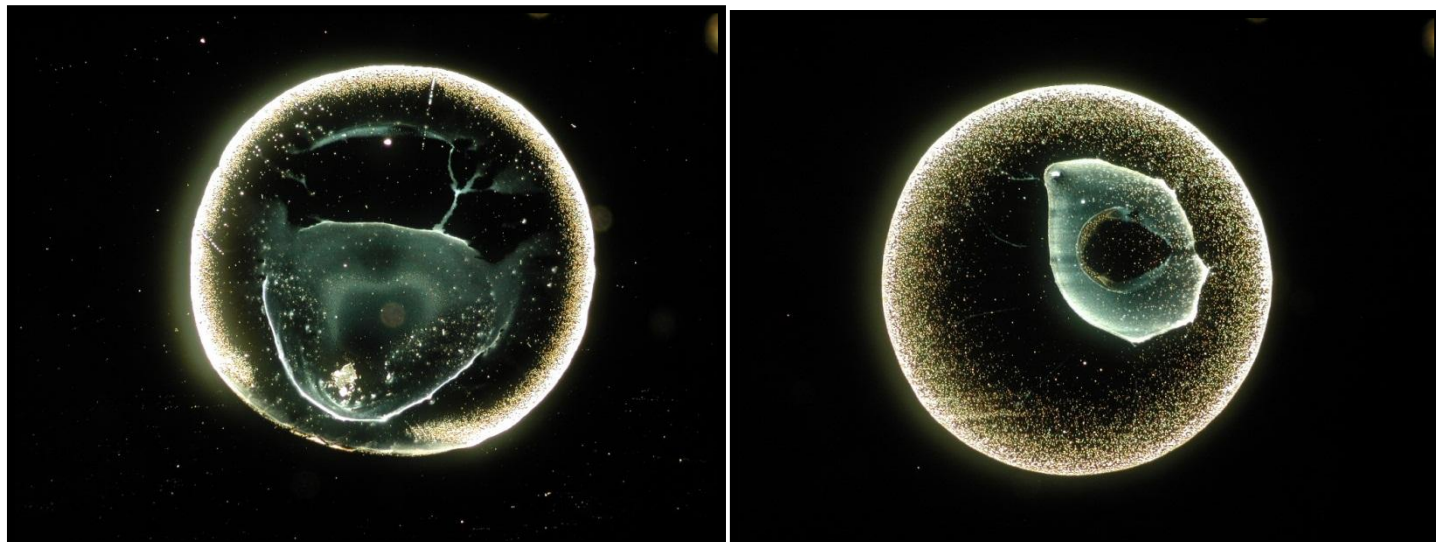
L'indice de saturation de Langelier est défini comme la différence entre le pH réel de l'eau et le pH de saturation :  $I_L = pH - pH_s$  (pour Ryznar c'est le même principe avec  $I_R = pH - 2pH_s$ ).

Un indice de saturation positif indique que l'eau a tendance à entartrer, tandis qu'un indice de saturation négatif indique qu'elle a tendance à dissoudre le tartre, à être agressive. Des tableaux permettent aussi d'estimer l'importance de la tendance agressive ou entartrante de l'eau en fonction de la valeur de ces indices. Aujourd'hui il existe toutefois d'autres méthodes plus fines qui prennent en compte un nombre encore plus important de paramètres afin de définir la qualité de l'eau en terme d'équilibre calco-carbonique.

Il suffit donc que l'un ou plusieurs de ces éléments subissent une modification quelconque pour que l'équilibre calco-carbonique de l'eau varie, avec comme conséquence une augmentation de ses tendances à l'incrustation ou à l'agressivité.

De plus, l'eau est soumise à des conditions non naturelles durant son cheminement dans les réseaux de distribution. Elle est ainsi sous pression, parfois stagnante, réchauffée dans les conduites à l'intérieur des bâtiments, etc. La puissance des ondes électromagnétiques techniques qui augmente en continu (téléphone portable, W-Lan, téléphones sans fil, etc.) réduit aussi toujours plus ses caractéristiques naturelles. Cela est rarement pris en compte car les qualités chimiques de l'eau ne sont pas modifiées et qu'il est difficile d'observer des modifications de sa qualité physique. Certaines techniques permettent tout de même d'observer ces différences comme l'analyse microscopique. Le principe consiste à déposer de fines gouttes d'eau sur un porte-objet, de laisser évaporer ces gouttes puis d'observer la disposition des éléments déposés avec un microscope. La figure 6 montre une goutte d'eau évaporée avec et sans traitement électromagnétique, la qualité chimique de l'eau est identique, seule sa qualité « physique » a été modifiée via le traitement électromagnétique et les différences sont nettes.

Document Number	Rev.	Page
<b>MKT-DOS-005-00-FR</b>	0	10/19



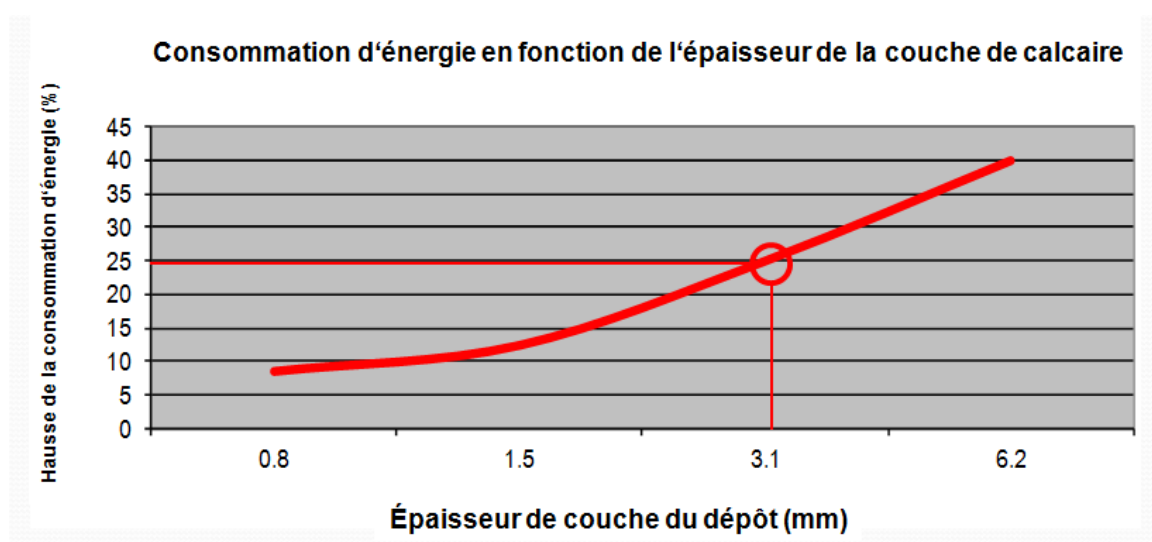
**Fig. 6** Analyse microscopique d'une goutte d'eau sans traitement électromagnétique (gauche) et avec traitement (droite)

En plus des facteurs reconnus cités précédemment (pH, TAC, dureté de l'eau, conductivité, température), il semble également qu'un traitement électromagnétique puisse agir en modifiant cet équilibre calco-carbonique. Il est aujourd'hui admis qu'un traitement magnétique ou électromagnétique peut modifier la forme des cristaux de calcaire. En privilégiant une phase de formation des cristaux dite de nucléation plutôt qu'une phase de formation dite de croissance, le traitement physique permet d'obtenir majoritairement des cristaux de calcaire appelés « aragonite » au lieu des cristaux de « calcite ». A la différence des cristaux de calcite, ces cristaux d'aragonite ont la faculté de rester dans l'écoulement de l'eau et de ne pas se déposer sur les conduites ou toute autre surface ou appareil. Ce fait reconnu aujourd'hui permet d'expliquer le traitement préventif pour éviter de nouveaux dépôts. En revanche l'expérience a aujourd'hui montré de façon indéniable l'aspect également curatif d'un traitement électromagnétique spécifique sur des dépôts de calcaire déjà existants. Il faut de nouveau insister sur le fait que l'efficacité dépend fortement des fréquences et intensités utilisées lors du traitement, comme expliqué précédemment, ce choix a un rôle majeur. Plusieurs hypothèses doivent encore être vérifiées mais la plus réaliste serait une modification des équilibres calco-carboniques de l'eau qui permettrait à l'eau de dissoudre le calcaire déjà déposé, le carbonate de calcium se transformant de nouveau en ions calcium et hydrogénocarbonates. Il a en effet déjà été démontré de façon reproductible une action des champs électromagnétiques de basses fréquences sur des solutions aqueuses par dissolution des « colloïdes naturels » que sont par exemple les nano-bulles de gaz [2, 3 et 4]. Cette action permettrait d'augmenter la concentration des gaz dissous comme le dioxyde de carbone qui était concentré dans les bulles de gaz, et ainsi déplacer

Document Number	Rev.	Page
<b>MKT-DOS-005-00-FR</b>	0	11/19

les équilibres calco-carboniques. Ces travaux récents (2005 et 2006) valident les hypothèses des chercheurs américains Colic et Morse [5] ainsi que le travail d'une équipe italienne [6]. Les résultats des deux équipes avaient suggérés que les champs électromagnétiques ont une action sur l'interface gaz/eau.

Un effet annexe de ces dépôts concerne l'augmentation de la consommation d'énergie à cause des couches de calcaire dans les chauffe-eau, échangeurs de chaleur ou autres éléments chauffants. Une couche de 3 mm augmente déjà de 25 % la consommation d'énergie (Fig. 7), d'où l'intérêt marqué tant en traitement préventif qu'en traitement curatif du traitement électromagnétique.



**Fig. 7** Consommation d'énergie en fonction de la couche de calcaire

## 4 Traitement électromagnétique contre la corrosion

### 4.1 Influence directe contre la corrosion (eaux agressives ou corrosives)

Tout d'abord il faut dire que chaque deuxième dégât d'eau dans le monde est provoqué par la corrosion. La perte économique liée à la corrosion est très haute et représente environ 3 % du produit intérieur brut mondial !

Les eaux véhiculées dans les réseaux peuvent présenter des caractéristiques physico-chimiques très différentes. Ces dernières permettent de différencier les eaux. Les eaux faiblement minéralisées sont généralement agressives. Des eaux acides ou fortement chargées en ions sulfates et/ou chlorures

Document Number	Rev.	Page
MKT-DOS-005-00-FR	0	12/19

sont également souvent corrosives. Le traitement électromagnétique peut influencer très positivement ces phénomènes de corrosion ou de micro-corrosion. Ces derniers ont lieu au niveau des interfaces entre les conduites et l'eau et sont encore assez mal compris par la communauté scientifique car très complexes. Cette corrosion a généralement lieu lorsque l'eau est dite douce (peu chargée en calcaire), lorsque des éléments comme les ions chlorures ou les ions sulfates (sels d'acide fort) sont présents en concentrations non négligeables et/ou lorsque les valeurs de potentiel/pH de l'eau sont dans la zone dite de corrosion du fer (c'est-à-dire lorsque le fer solide est en équilibre avec ses formes ioniques  $Fe^{2+}$  ou  $Fe^{3+}$ ), notamment avec une eau acide (Fig. 8).

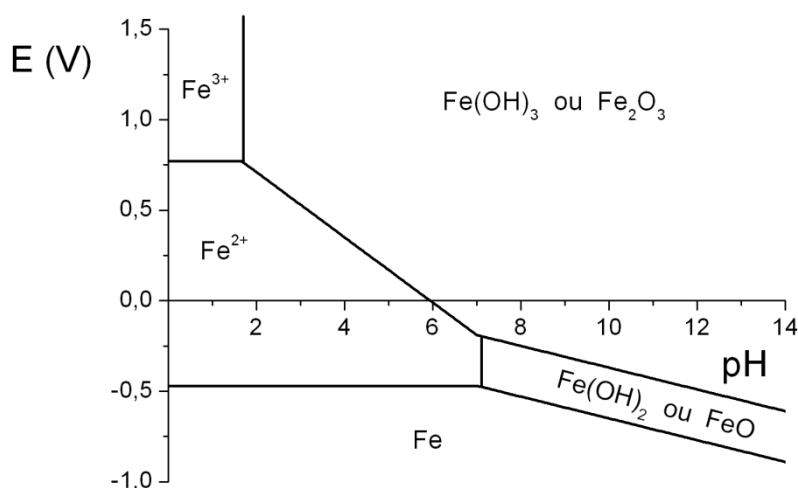


Fig. 8 Diagramme simplifié potentiel-pH du fer à 25°C

Nous prenons ici l'exemple du fer, le principe reste similaire avec d'autres métaux ou alliages, même si certains présentent moins de risques. Les différences de potentiel très locales au niveau de l'interface entre la conduite et l'eau ont un rôle très important et les perturbations électromagnétiques techniques croissantes ces dernières années (antennes relais, lignes haute tension, W-Lan, téléphones portables, etc.) peuvent aussi accroître ce phénomène de corrosion. Avec le traitement électromagnétique il y a un déplacement des équilibres, le fer ne se dégrade plus en libérant ses formes ioniques mais réagit pour former des oxydes ferriques (généralement  $Fe(OH)_2$  ou  $Fe(OH)_3$ ). Ces derniers ne sont pas entraînés par le courant d'eau mais restent à la surface de la conduite et forment une couche de protection appelée couche de passivation, qui permet de protéger cette dernière.

Document Number	Rev.	Page
<b>MKT-DOS-005-00-FR</b>	0	13/19

Des études plus poussées doivent encore être menées pour expliquer très précisément pourquoi le traitement électromagnétique apporte une telle protection contre la corrosion mais les bases théoriques existent déjà et sont confirmées par la pratique. Ce déplacement des équilibres peut s'expliquer par l'action du traitement électromagnétique sur les différentes forces d'interactions : comportement hydrophile/hydrophobe, interactions ioniques (potentiel zêta), taille et structure des clusters d'eau, etc.

La figure suivante (Fig. 9) montre l'exemple d'un traitement électromagnétique sur un réseau d'eau de la commune d'Orsières en Valais. Comme on peut le voir sur la photo de gauche prise après 8 ans de circulation d'eau dans la conduite, il y a à la fois des dépôts de calcaire et une corrosion. La qualité entartrante de cette eau avec une présence importante d'ions sulfate responsables de la corrosion explique parfaitement cet état. Un tuyau en acier neuf et de même qualité a remplacé cet élément de conduite pour référence et la photo de droite montre l'état de ce dernier après 6 années de traitement électromagnétique sur le réseau d'eau (traitement réalisé 1 km en amont dans le réservoir d'eau). Il apparaît clairement qu'il n'y a plus de dépôts de calcaire et qu'il n'y a également plus de corrosion. Il y a juste une fine couche de passivation, couche d'oxydes ferriques orangée.



**Fig. 9** Exemple commune d'Orsières, VS, à gauche tuyau en acier entartré et corrodé après 8 ans, à droite tuyau en acier qui l'a remplacé après 6 ans de traitement électromagnétique, plus de dépôt, couche de passivation interne (orange).

Document Number	Rev.	Page
MKT-DOS-005-00-FR	0	14/19

## 4.2 Influence contre le développement des biofilms et contre la biocorrosion

Les biofilms sont des structures composées de microorganismes et sont présents dans toutes les eaux, aussi dans les puits et les eaux de ville. Ils sont formés de bactéries, d'algues, de champignons et de protozoaires. Les microorganismes peuplent toutes les surfaces de contact entre l'eau et le récipient concerné. Ils se regroupent pour former des cohabitations très efficaces : les cellules de biofilm se relient via les exopolymères (polymères extra cellulaires) et deviennent ensuite des cultures de biofilm pour éviter de se faire emporter par l'écoulement et coloniser après leur croissance d'autres lieux (Fig. 10).

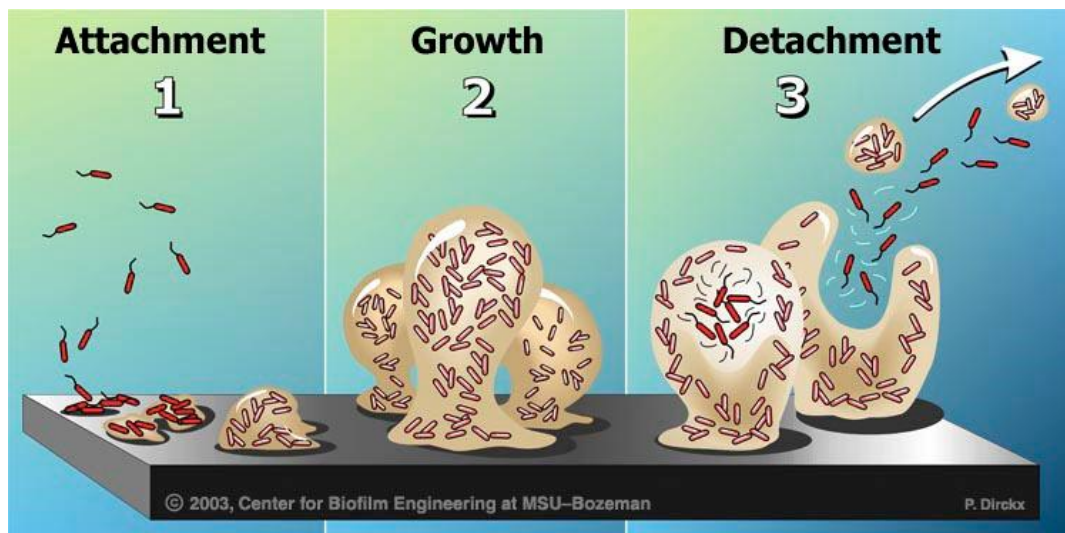


Fig. 10 Formation du biofilm (Center for Biofilm Engineering, MSU-Bozeman)

Le traitement électromagnétique de l'eau peut avoir une influence sur les biofilms. Il peut éliminer les biofilms existants et éviter de nouvelles adhésions. Cela est important car certaines bactéries peuvent être pathogènes et une élimination des biofilms dans les canalisations permettrait de réduire le dosage de produits oxydants comme le dioxyde de chlore utilisé dans les réseaux comme biocide. De plus, en ce qui concerne la problématique de la corrosion, il existe une corrosion liée à la présence de certaines bactéries aux parois des canalisations, cette corrosion est appelée biocorrosion (ou corrosion bactérienne).

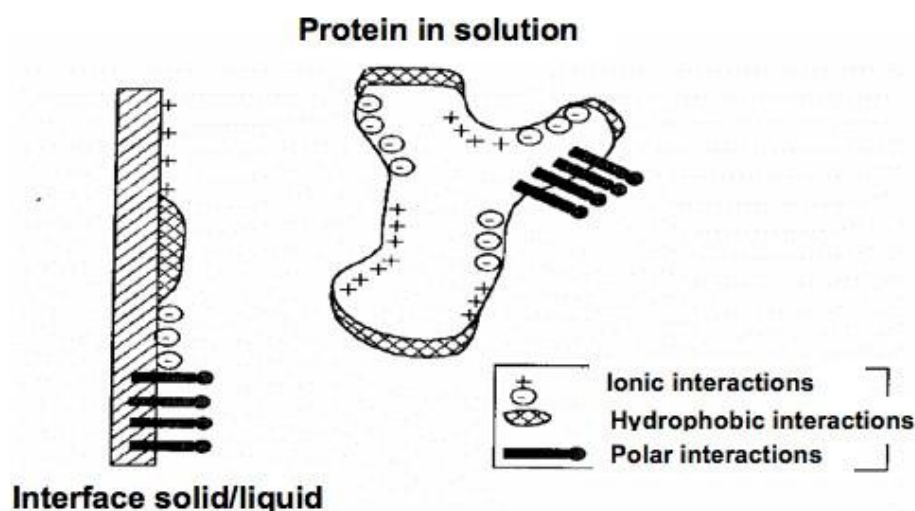
Document Number	Rev.	Page
<b>MKT-DOS-005-00-FR</b>	0	15/19

Le phénomène de biocorrosion est lié à différents types de bactéries (aérobies et anaérobies) qui peuvent se loger sur la surface interne des canalisations au sein d'un biofilm. Ces micro-organismes vont alors engendrer des corrosions localisées perforantes par action directe ou indirecte via diverses réactions bio-chimiques.

Généralement, si une corrosion bactérienne est constatée, c'est un effet additionnel lié à l'existence d'une dégradation et à des conditions propices au développement des bactéries. Les solutions à apporter visent donc surtout à prévenir la formation de biofilm et la corrosion de manière générale, ainsi que l'entartrage qui peut offrir des conditions idéales de prolifération des bactéries.

C'est précisément ce que permet de faire un traitement électromagnétique adapté comme déjà décrit précédemment. Les effets curatif et préventif sur l'entartrage et la prévention de la corrosion due à une eau agressive ou corrosive réduisent les adhésions des micro-organismes sur les surfaces qui sont autant de points de fixation des biofilms (les surfaces sont moins lisses) et de prolifération en fournissant le substrat nécessaire à leur développement.

De plus le traitement électromagnétique a également une influence directe sur le biofilm. Il faut savoir que la complexité du phénomène d'adsorption des protéines (constituant les micro-organismes) est largement reliée à l'hétérogénéité de la structure de la protéine et de celle des surfaces adsorbantes (métal, verre, PVC, etc.). Cette hétérogénéité peut engendrer des interactions de natures diverses qui sont liées à la présence sur la surface du matériau et de la protéine, de domaines hydrophobes, polaires ou chargés (Fig. 11).



**Fig. 11** Interactions avec la protéine

Document Number	Rev.	Page
<b>MKT-DOS-005-00-FR</b>	0	16/19

Les types d'interactions généralement développés entre les protéines et la surface sont : les interactions électrostatiques (ou ioniques), les interactions de Van Der Waals, les liaisons hydrogènes, les interactions hydrophobes et polaires, sur lesquels le traitement électromagnétique peut agir et éviter ainsi l'adhésion du biofilm sur les conduites. Certains de ces mécanismes comme la réduction de la barrière de potentiel Zêta via l'utilisation d'un traitement électromagnétique ont déjà été prouvés (travail de master de l'Université de Nantes [7]). Il reste cependant encore pas mal de recherche fondamentale à réaliser dans ce domaine afin de connaître précisément les mécanismes prépondérants dans la suppression des biofilms observés dans la pratique. Il a aussi été démontré que le traitement électromagnétique n'avait pas un effet directement biocide. L'intérêt d'éliminer des biofilms ou d'éviter leur développement est majeur mais il faut aussi souligner le rôle complémentaire des biocides comme le chlore lorsqu'il s'agit de tuer des bactéries présentes dans l'eau. Un biocide va tuer les bactéries en suspension dans l'eau et celles en surface des biofilms mais ne va pas permettre de supprimer le biofilm. Le traitement électromagnétique va pouvoir éliminer les biofilms existants et empêcher de nouvelles adhésions, mais il n'aura pas un effet directement létal sur les bactéries.



Document Number	Rev.	Page
<b>MKT-DOS-005-00-FR</b>	0	17/19

La figure suivante (Fig. 12) montre un exemple d'élimination de biofilm dans une conduite d'alimentation en eau de boisson dans un poulailler. Les photos ont été prise avec un endoscope, à gauche nous voyons la conduite sans traitement électromagnétique avec présence d'un biofilm sur les parois, à droite nous voyons la conduite avec traitement électromagnétique de l'eau, le biofilm a été éliminé après 3 mois.



**Fig. 12** Endoscopie d'un tube sans traitement électromagnétique (à gauche) et avec traitement électromagnétique (à droite)

## 5 Conclusion

Bien que toujours sujet à discussion les systèmes de traitement électromagnétique de l'eau se développent aujourd'hui de plus en plus. Ces nouveaux systèmes doivent remplir un certain nombre de conditions afin de garantir un bon traitement et une bonne efficacité. Les appareils encore existants sur le marché n'offrent pas tous une garantie de bon fonctionnement. Il est pour cela nécessaire de bien se renseigner sur la technologie proposée et sur la crédibilité de l'entreprise qui les fabrique mais des systèmes réellement efficaces sur les domaines décrits précédemment existent aujourd'hui. De nouvelles applications comme par exemple le traitement des lacs et celui des bassins de stations d'épuration voient également le jour en collaboration avec des universités. Concernant le

Document Number	Rev.	Page
<b>MKT-DOS-005-00-FR</b>	0	18/19

traitement des lacs, des premières installations montrent une amélioration de la transparence de ces derniers et une atténuation des problèmes d'eutrophisation (développement excessif d'algues et plantes macrophytes). Pour ce qui touche aux stations d'épuration, des premiers travaux de R&D ainsi qu'une première installation suivie par l'OFEV (Office Fédéral de l'Environnement) montrent une influence très favorable du traitement électromagnétique dans l'amélioration de la sédimentation des boues au niveau des bassins de décantation et dans la réduction de la production des boues activées en excès dans les bassins biologiques d'aération. Le monde académique montre aujourd'hui un intérêt croissant pour cette technologie respectueuse de l'environnement, présentant un très faible coût énergétique, et avec un fort potentiel confirmé par les récents résultats très intéressants obtenus.

Le traitement électromagnétique de l'eau bien que déjà très prometteur dans de nombreuses applications n'en est qu'à ses débuts aujourd'hui, et en guise de conclusion on pourrait rappeler une citation du Dr. Ervin Laslo "Nous ne pouvons pas « voir », « sentir », « goûter », « entendre » ni « toucher » la vaste matrice des énergies électromagnétiques qui étaient inconnues de la science il y a à peine un siècle, et pourtant leurs multiples formes d'ondes et de fréquences constituent aujourd'hui la base de nos technologies globales".

Document Number	Rev.	Page
<b>MKT-DOS-005-00-FR</b>	0	19/19

## Références

---

- [1] Anjali Saxena, Jerry Jacobson, William Yamanashi, Benjamin Scherlag, John Lamberth, Brij Saxena, "A hypothetical mathematical construct explaining the mechanism of biological amplification in an experimental model utilizing picoTesla (PT) electromagnetic fields", Medical Hypotheses, vol.60(6), 821-839, (2003)
- [2] Philippe Vallée et al., "Effects of pulsed low frequency electromagnetic fields on water characterized by light scattering techniques: role of bubble", Langmuir 21(6), 2293-9, (2005a)
- [3] Philippe Vallée et al., "Effects of pulsed low frequency electromagnetic fields on water using photoluminescence spectroscopy: role of bubble/water interface", J. Chem. Phys. 122(11), 114513-1-8, (2005b)
- [4] Philippe Vallée, "Action of pulsed low frequency electromagnetic fields on physicochemical properties of water: incidence on its biological activity", European Journal of Water Quality 37(2), 221-32, (2006)
- [5] Miroslav Colic and Dwain Morse, "Influence of Resonant RF Radiation on Gas/Liquid Interface: Can It Be a Quantum Vacuum Radiation?" Phys. Rev. Lett. 80(11), 2465-8, (1998)
- [6] D. T. Beruto et al., "Interfacial effect of extremely low frequency electromagnetic fields (EM-ELF) on the vaporization step of carbon dioxide from aqueous solutions of body simulated fluid (SBF)", Bioelectromagnetics 24(4), 251-61, (2003)
- [7] Anne-Laure Biang, Florent Chazarenc "Validation scientifique d'un traitement électromagnétique innovant de traitement des boues activées et effet sur le potentiel Zêta", rapport de Master (2009) – Publication en phase de soumission.