

ELECTRIFICATION DE LA VAPEUR D'EAU

Résumé

En 1840, Lord AMSTRONG fut le premier à étudier la charge électrique produite par de la vapeur sortant des bouilleurs, phénomène appelé « électrification par la vapeur ». En 1969, l'intérêt pour la vapeur électrisante se renouvela à cause des explosions causées par le nettoyage de réservoirs avec des jets de vapeurs.

Le phénomène de vapeur électrisante sera ici expliqué par les bulles naissant dans les gouttes d'eau bouillantes, ces bulles se comportant comme des cavités résonnantes Electro-Dynamiques Quantiques (QED).

Durant la croissance de la bulle, la fréquence propre de celle-ci coïncide avec l'émission d'un rayonnement UltraViolet. Sous l'effet de ce rayonnement, les molécules d'eau entourant les bulles se dissocient alors en ions hydronium H_3O^+ et ions hydroxyle OH^- . Après recombinaison, seulement 20% des ions sont disponibles pour l'électrification. (On les distinguera des ions d'arrière plan » qui conditionnent le pH et le pOH de l'eau).

L'eau courante a un pH naturellement inférieur à 7 (caractère acide), à cause du dioxyde de carbone atmosphérique qui se dissout dans celle-ci. La présente théorie sur l'électrification de la vapeur est fondée sur **l'importance du pH de l'eau** :

Si l'eau est acide, elle prédit que la vapeur issue de celle-ci sera positive, et à contrario, si elle est basique, sa vapeur sera négative. La raison est la suivante : dans l'eau acide, après **dissociation** par QED ($2H_2O \rightarrow OH^- + H_3O^+$), les ions hydronium disponibles sont repoussés des parois des bulles, chargées aussi positivement, et se regroupent à l'intérieur des bulles, formant une vapeur chargée positivement. Les ions hydroniums se regroupent à la surface de la bulle. L'éclatement des bulles créera alors une vapeur chargée positivement et des gouttelettes chargées négativement. Pour de l'eau basique, le phénomène sera inverse.

Mots clef : bulles, électrification de la vapeur, Leidenfrost, éclairs, électricité atmosphérique.

1. INTRODUCTION

En 1840, les bouilleurs étaient courants en Angleterre (NB : 1^{ère} révolution industrielle et avènement de la machine à vapeur). Dans la ville de SEGHELL, il arriva que la vapeur fût à travers le joint de ciment assurant l'étanchéité de la soupape de sécurité. Un ouvrier touchant à la fois le flot de vapeur et le levier de la valve reçut une violente secousse électrique. **L'incident de Seghill** était né.

Lord William ARMSTRONG [1], dans une lettre à FARADAY, rapporta ce phénomène d'électrification par la vapeur. FARADAY lui répondit qu'il allait rechercher les causes de l'incident de SEGHELL.

Plus tard, il répondit qu'en se servant d'un électromètre, il avait déterminé que la vapeur était chargée positivement. Il découvrit aussi que l'eau du bouilleur de SEGHELL était acide, à cause du sulfate de chaux dissout dans celle-ci. Pour un autre bouilleur, rempli d'eau de pluie, il ne constata aucune charge de la vapeur. FARADAY conclut donc que l'électrification de la vapeur était liée à la nature de l'eau employée.

L'incident de SEGHELL, rapporté par ARMSTRONG, fut confirmé par PATTINSON [2]. L'étude effectuée par SCHAFHAEULT [2] suggéra que la source de l'électrification de la vapeur était liée aux dépôts dans le bouilleur.

Afin de tester l'hypothèse de FARADAY, ARMSTRONG testa d'autres bouilleurs, remplis de la même eau additionnée de chaux, et trouva les mêmes résultats. Peu après, PATTINSON trouva que la longueur des arcs électriques de décharge était proportionnelle à la pression régnant dans le bouilleur [4].

En 1843, la notion de charge par friction fut introduite pour expliquer l'électrification de la vapeur. ARMSTRONG était persuadé que la source de l'électrification était liée au fait que la vapeur subissait une friction en s'échappant par la buse du bouilleur mais il avait du mal à se convaincre que cela suffisait pour tout expliquer. FARADAY était quant à lui persuadé [6] que l'électrification n'était pas due à un changement d'état (évaporation ou condensation), car il avait observé que la charge pouvait s'inverser en changeant le matériau de la buse du bouilleur. Ainsi il abandonna l'idée de prépondérance du type de l'eau au profit de l'importance du contact vapeur-buse. Il confirma par ailleurs que la vapeur sans phase liquide était impossible à électriser [6].

En revanche, en ajoutant des gouttelettes d'eau distillée (NB : reconnu plus tard comme étant acide), il obtint à la sortie du bouilleur une vapeur d'eau chargée positivement, le bouilleur se chargeant négativement. La charge de la vapeur cesse si on ajoute un peu de base à l'eau distillée. En remplaçant l'eau distillée par de l'eau de la Tamise, la charge électrique disparaît.

En ajoutant de l'ammoniaque à l'eau distillée, on obtient une vapeur chargée, capable de faire rougir du papier turme ric (??) et cette charge disparaissant

avec l'ajout d'une petite quantité d'acide sulfurique. Malheureusement, FARADAY ne fit pas de mesure de pH sur les eaux employées pour ses expériences.

Il testa en revanche l'influence d'huile d'olive additionnée à l'eau distillée dans le bouilleur et observa un dégagement de vapeur chargée négativement, de même que pour l'addition d'huile de laurier et de turpentine. En revanche, aucune charge ne fut notée dans le cas d'un bouilleur rempli uniquement d'huile. Si une base est ajoutée au mélange huile d'olive+eau, la vapeur perd sa charge, contrairement au mélange eau distillée- huile de turpentine - base. Pour en revenir à l'eau distillée, on note une vapeur positive lorsque l'on ajoute du soufre et du camphre dans le bouilleur.

FARADAY interpréta ces résultats comme causés par une modification du frottement de la vapeur à l'intérieur de la buse. Cette hypothèse était tenable pour l'huile et les poudres, qui sont physiquement différents de l'eau. Ce changement physique modifiant le degré de friction dans la buse et ainsi la charge électrique accumulée. L'effet constaté des bases et des acides sur l'eau confirmait quant à lui l'hypothèse d'ARMSTRONG selon laquelle la friction n'était pas la seule cause de l'électrification.

Par la suite, FARADAY chercha à éliminer la vapeur en travaillant avec de l'air comprimé. Il pressurisa donc un container avec de l'air fourni par une seringue. Ce container disposait d'un moyen pour éliminer l'humidité et d'un système pour envoyer l'air sous pression contre différents matériaux. De l'air 'séché' et de l'air ambiant furent donc testés (l'air sec était obtenu par contact de l'air ambiant avec de la potasse, une base forte, pendant 10-15 minutes).

L'air ambiant, légèrement humide, parvint à charger positivement une plaque soumise au flux d'air comprimé. En revanche, l'air sec se révéla incapable de charger électriquement quoi que ce soit.

Contrairement aux lois du chargement par friction, le soufre et la poudre de silice, propulsés par air comprimé, se chargèrent avec un signe opposé à celui prévu. FARADAY en fut très désappointé et s'avoua incapable d'expliquer la raison de ce phénomène.

2. PORTEE, MECANISME ET OBJECTIFS

2.1 Portée

En 1969, 3 supertankers coulèrent ou furent sévèrement endommagés par des explosions dont l'origine se révéla être des décharges électriques. Ces charges électriques avaient été accumulées dans les réservoirs car ils avaient été soumis à un nettoyage à l'eau chaude, à l'eau froide et à la vapeur [7].

Depuis ARMSTRONG, on savait que la vapeur pouvait être électrisée. Suite à l'explosion des bateaux, la vapeur humide fut à nouveau identifiée comme source de brouillards chargés.

Pour ce qui est des écoulements de liquides, chauds ou froids, ils produisent également des charges électriques. Comparativement à la vapeur humide, ils posent beaucoup moins de problèmes. Sur la base de ce constat, la portée de ce document se limitera à l'électrification de la vapeur humide.

2.2 Mécanismes

L'intérêt de ce document est d'expliquer l'origine de la charge dans l'électrification de la vapeur, plus couramment appelée charge par pulvérisation (**spray charging**). En 1972, MOORE [9] étudia la théorie de charge par pulvérisation, énoncée par LENARD [10] et NATANSON [11].

En 1892, LENARD proposa en effet la théorie de la double couche ionique comme explication à l'électrification des chutes d'eau. La double couche ionique est formée de dipôles, constitués par les molécules d'eau : l'extrémité positive est orientée vers le centre des bulles et l'extrémité négative vers l'extérieur. L'extrémité positive va attirer les ions négatifs du liquide. Si l'eau est pulvérisée sous forme de spray, la double couche et les ions négatifs forment des particules susceptibles de transporter des charges négatives. Les charges positives, quant à elles restent avec les plus grosses particules. Grâce à sa théorie, LENARD expliqua pourquoi on trouve de la vapeur chargée négativement loin de la chute d'eau alors que près de la chute d'eau, les gouttelettes en suspension sont chargées positivement.

En 1950, NATANSON énonça une autre théorie : celle de la fluctuation des ions [7] pour expliquer l'électrification de la vapeur d'eau. Cette théorie s'appuie sur le fait qu'un liquide est composé d'un grand nombre de charges positives et négatives. Selon lui, la charge par pulvérisation est reliée à la densité des ions dans le liquide. Il stipule de plus que les ions responsables sont les anions et les cations minéraux et non les ions hydroxyle et hydronium. En effet, de petites concentrations en sel dans l'eau distillée augmentent l'ionisation symétrique (?) et diminuent la charge totale. A contrario, de grandes concentrations sont nécessaires pour inverser la charge du liquide. Toujours selon la théorie de fluctuation des ions, la séparation des charges est statistique et ne nécessite pas d'événement extérieur.

Ces 2 théories (double-couche ionique et fluctuation des ions) sont acceptables pour expliquer comment la molécule d'eau et les ions sont reliés à la formation du spray mais la conservation de la charge totale et les mécanismes par lesquels les charges sont séparées ne sont pas identifiés.

Conscient de ce manque, MOORE [9] met en évidence l'obligation des charges provenant du liquide d'être égales aux charges du spray, ce que ne fait aucune des 2 théories susnommées.

LOEB [12] a étudié l'électrisation par un procédé électrolytique dans lequel de petites quantités d'acide et de base peuvent radicalement changer le pH de l'eau mais le pH, comme paramètre influent, est absent de la théorie de fluctuation des ions comme de la théorie de la double-couche.

Reprenant le point de vue d'ARMSTRONG, l'opinion développée dans cette publication est que les procédés électrolytiques qui modifient les caractéristiques de l'eau sont fondamentaux dans la charge par pulvérisation.

2.3 objectif

Le propos de cette publication est de proposer une théorie pour l'électrisation de la vapeur humide, explication basée sur la dissociation des molécules d'eau dans les bulles qui se forment dans les gouttes d'eau bouillante.

3.THEORIE

Lors de l'électrisation de la vapeur humide, l'ébullition des gouttelettes d'eau produit de la vapeur sous pression dans le bouilleur.

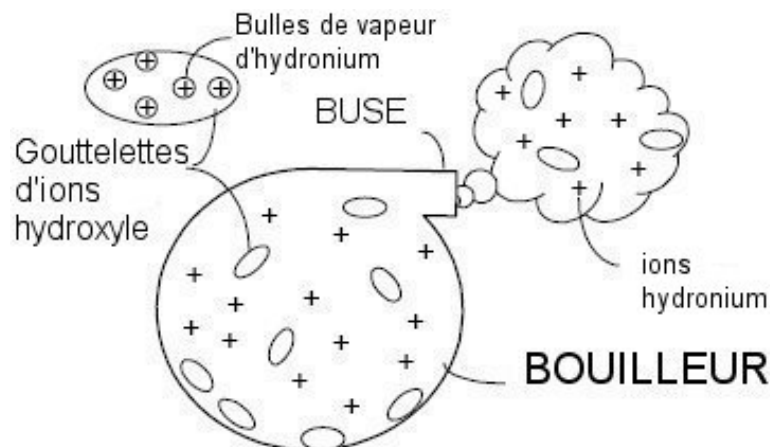


Fig. 1 : Electrisation de la vapeur (pH<7)

La vapeur s'échappe du bouilleur par la buse. Les gouttes éclatent quand le jet se retrouve à pression ambiante. Des bulles se forment alors dans les gouttelettes d'eau liquide en ébullition. Ces bulles ne peuvent se former dans une vapeur sèche. Voilà pourquoi, selon la présente théorie, de la vapeur sèche ne peut pas être électrisée.

(NB : Il se trouve que dans les expériences de dopage à eau, on constate justement que la vapeur sèche est inefficace...)

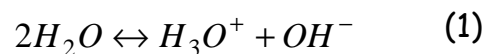
La présente théorie stipule que les molécules d'eau formant les parois des bulles **sont dissociées en ions hydroxyles et ions hydronium par rayonnement électrodynamique.**

En effet, lors de sa croissance, la fréquence de résonance de la bulle coïncide avec la fréquence de dissociation de la molécule d'eau.

(NB : elle va également, à un moment donné, coïncider avec la fréquence de dissociation de l'oxygène en ozone, ce qui pourrait expliquer l'odeur ozonée du gaz sortant du réacteur...)

Après recombinaison, seulement 20% des ions sont disponibles pour l'électrification, ions appelés « ions disponibles », afin de les distinguer des ions hydronium et hydroxyle présents dans l'eau du bouilleur (ions d'arrière plan).

La formule d'**ionisation de l'eau** est la suivante :



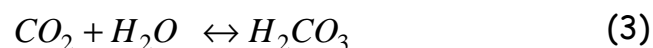
La concentration des ions hydronium et hydroxyle ($[H_3O^+]$ et $[OH^-]$) étant donnée par la constante d'ionisation K_W :

$$K_W = [H_3O^+] \times [OH^-] \quad (2)$$

Avec $[H_3O^+] = [H_3O^+]_d + [H_3O^+]_a$ et $[OH^-] = [OH^-]_d + [OH^-]_a$.

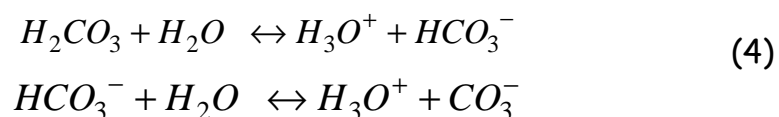
Les indices **d** et **a** correspondent aux ions **disponibles** et **d'arrière plan**.

La source « courante » d'acidité, dans l'eau est le CO_2 atmosphérique, qui se dissout dans l'eau en acide carbonique :



La cinétique de formation de l'acide carbonique à partir du dioxyde de carbone est lente, de l'ordre de la seconde. La réaction inverse est quant à elle rapide et non limitée par la présence de dioxyde de carbone.

Les réactions avec l'eau sont les suivantes :



En général, l'eau du bouilleur contenait de la chaux ou du calcaire, comme l'avait identifié FARADAY [1]. Le dioxyde de carbone dissout la chaux pour former des ions calcium et bicarbonate.

D'autre part, un léger ajout de sel (NaCl) dans l'eau peut se combiner avec les ions hydroxyle pour former la soude (NaOH), une puissante base. Pour éviter d'entrer dans la chimie des acides et des bases, le mécanisme de séparation des charges sera simplifié en terme de pH de l'eau. Voici, sur la figure suivante, 2 bulles de vapeur nées dans de l'eau acide à gauche et basique à droite :

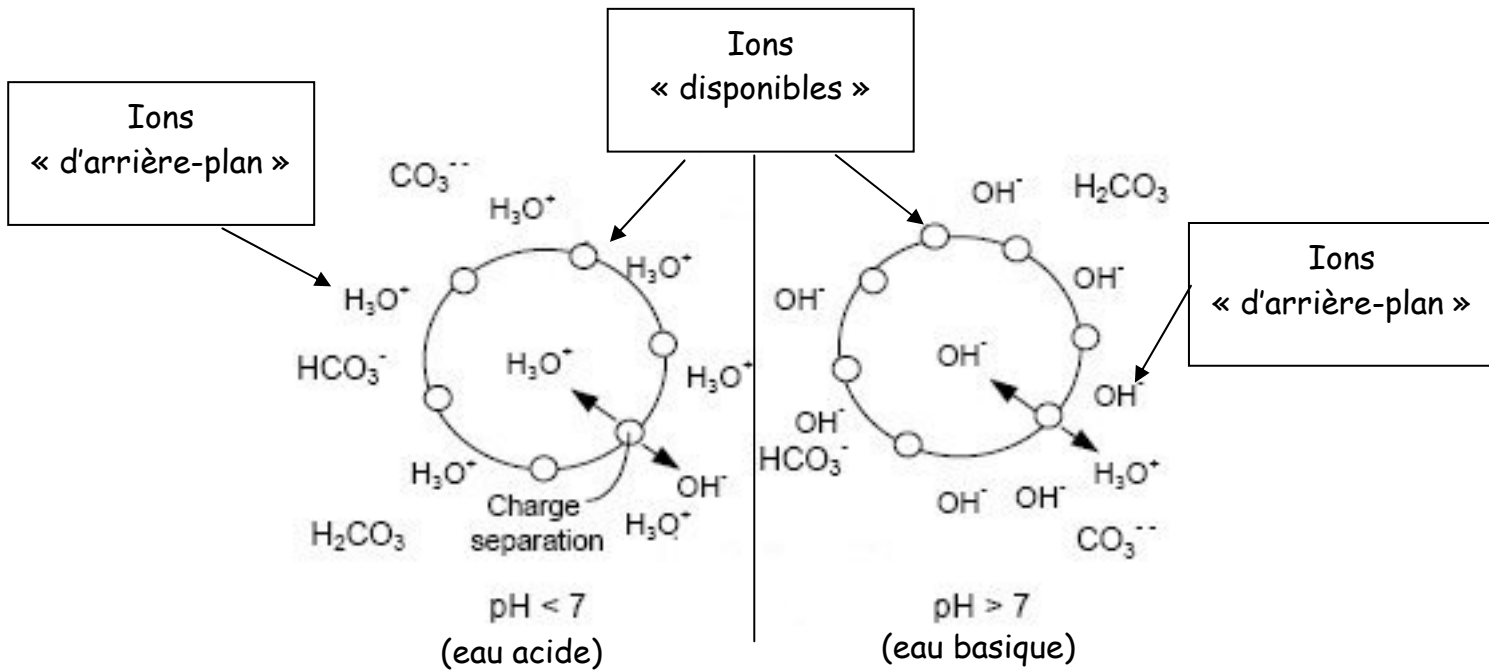


Figure 2 : Séparation des charges

(Les ions disponibles sont ceux qui forment les parois des bulles de vapeur)

La séparation des charges dans l'eau acide ($pH < 7$) suppose que les ions disponibles, créés à la surface des bulles par QED ne vont pas se recombiner avec les ions d'arrière plan. Ainsi, les ions hydroxyle et hydronium ne sont pas en équilibre :

$$[H_3O^+]_d \times [OH^-]_d \neq ([H_3O^+]_d + [H_3O^+]_a) \times ([OH^-]_d + [OH^-]_a) \quad (5)$$

Pour satisfaire l'équation (5), les ions d'arrière plans $[H_3O^+]_a$ doivent être réduits pour compenser les ions disponibles $[H_3O^+]_d$ et $[OH^-]_d$ en réagissant avec les ions bicarbonate pour produire du dioxyde de carbone. Cependant, la formation de dioxyde de carbone est lente comparée au temps mis par une bulle pour exploser à la surface d'une gouttelette. Ainsi, l'équilibre local entre les ions

hydronium et les ions hydroxyle n'est pas satisfait dans la phase liquide. C'est pourquoi les ions à la surface des bulles passent dans la phase gazeuse de la bulle.

Comme l'eau acide contient plus d'ions d'arrière-plan hydronium qu'hydroxyle, la surface de la bulle sera chargée positivement. Les ions disponibles se séparent dans la phase gazeuse : les $[H_3O^+]_a$ sont attirés vers les parois de la bulle tandis que les $[OH^-]_a$ sont attirés vers le centre. Ainsi, lorsque la bulle s'échappera de la gouttelette, une vapeur négative s'échappera, laissant une gouttelette chargée positivement (dans le cas d'une eau basique, c'est l'inverse qui se produira).

La charge moyenne transportée par la vapeur dépend de la charge des parois de la bulle, qui dépend de la concentration des ions d'arrière-plan. Ainsi, la probabilité que les parois de la bulle soient positives ou négatives est :

$$P^+ = \frac{[H_3O^+]_a}{[H_3O^+]_a + [OH^-]_a} \quad \text{et} \quad P^- = \frac{[OH^-]_a}{[H_3O^+]_a + [OH^-]_a}$$

Une distribution statistique normale des particules centrée sur la charge moyenne, est suggérée par POUNDER [13,14]

3.1 Contexte

L'électrisation de la vapeur, causée par la séparation des ions hydronium et hydroxyles dans les bulles est commune à de nombreux phénomènes atmosphériques, parmi lesquels les éclairs et le phénomène « Leidenfrost ».

Ainsi, les éclairs, dus à l'électrisation des nuages, peuvent être expliqués par les ions hydronium et hydroxyles, produits par la dissociation des molécules d'eau : l'humidité, emportée en altitude se condense et refroidit pour former le graupel, un mélange d'eau et de glace. Les bulles qui apparaissent dans ce mélange, à cause de l'expansion de volume qui accompagne la solidification.

La première solidification place tout d'abord le mélange en compression. La séparation des charges a lieu dans les bulles par QED, de même que pour l'électrisation de la vapeur.

Typiquement, l'humidité dans l'atmosphère a un pH acide et les parois des bulles ont donc une charge positive. Les ions disponibles quittent alors le graupel sous forme de vapeur positive. Les ions hydroxyles restant donnent au graupel une charge négative.

Des particules de glace se forment ensuite, par solidification de la vapeur des ions hydronium 'vaporeux'. Il y a ainsi naissance de nuages de cristaux de glace chargée positivement. Les éclairs 'de nuage à nuage' dans la haute atmosphère apparaissent alors entre le graupel et les nuages de glace.

Pour ce qui est des éclairs 'de nuage au sol', ils ont lieu lorsque les nuages de graupel qui ont évité une décharge de 'nuage à nuage' descendent dans la basse atmosphère et se déchargent avec la surface de la Terre, positivement chargée.

Voyons maintenant plus en détail le phénomène appelé « LEIDENFROST », qui décrit l'électrisation d'une goutte d'eau posée sur une surface très chaude (400°C):

Entre la goutte et la surface, une pellicule de vapeur apparaît et c'est cette pellicule sur laquelle la goutte repose. Après dissociation QED des molécules d'eau, les ions disponibles se séparent dans la bulle. Si la goutte a un pH acide, les bulles qui naissent lors de l'ébullition porteront une vapeur chargée positivement, et la goutte sera chargée négativement par les ions hydroxydes restant.

De la même façon, si le pH de la goutte est basique, la vapeur sera chargée négativement et la goutte positivement.

3.2 SONOLUMINESCENCE ET DISSOCIATION DES MOLECULES D'EAU

La raison pour laquelle l'électrisation de la vapeur est reliée à la dissociation de l'eau vient du phénomène appelé SONOLUMINESCENCE (SL).

La SL fut observée par FRENTZEL et SCHULTZ en 1934 [17] et couramment décrite comme source de la lumière générée lors de la cavitation de l'eau, mais également comme source d'ions hydroxydes [18]. Beaucoup de théories sur la SL existent. La théorie de PLANCK [20] diffère des autres car la source de production des photons est l'énergie de Planck des particules émises par les molécules d'eau composant les parois des bulles. En effet, lorsque la bulle éclate, sa fréquence de résonance coïncide avec la fréquence de dissociation des molécules d'eau. Il faut savoir que la fréquence de résonance de la bulle augmente lors de son éclatement.

Ainsi, les fréquences de dissociation de l'eau sont forcément excitées. C'est-à-dire que la bulle agit comme un laser, balayant des Ultraviolets aux Infrarouges.

L'énergie de Planck E vaut :

$$E = h \cdot \nu = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

Où h est la constante de Planck, ν est la fréquence de résonance de la bulle, c la vitesse de la lumière et λ la longueur d'onde associée à la résonance de la bulle.

Dans le cas d'une bulle sphérique de rayon R, la résonance de la bulle peut être considérée comme une onde de longueur $\lambda \approx 4R$ et de fréquence $\nu = c/4R$.

L'eau liquide est très absorbante entre les fréquences UV et les rayons X. Si la taille des bulles correspond à la longueur d'onde qui dissocie l'eau, le phénomène de QED a lieu.

Les bulles nécessaires à l'émission de ce rayonnement sont invisibles à l'œil nu. En effet, pour créer un rayonnement UV, il faut des bulles d'un rayon inférieur à 40 nanomètres.

Par ailleurs, la séparation des charges n'a pas d'importance dans l'éclatement de la bulle car les parois des bulles se rencontrent. Des radicaux hydroxyles (OH^*) sont aussi produits, ils se combinent avec des atomes d'argon Ar, présents dans l'air qui est dissout dans l'eau. Les complexes OH^*Ar vont émettre des photons visibles lorsqu'ils se décomposeront.

(NB : à rapprocher du phénomène de luminescence mis en évidence dans le réacteur par Paul Pantone et rebaptisé « Molley effect », du nom de son épouse...)

Revenons à la dissociation de l'eau auquel nous nous intéressons, plus qu'à la production de lumière visible : la naissance des bulles est l'opposée de l'éclatement. Les bulles naissent selon des dimensions de l'ordre de l'espace entre les molécules d'eau. Ces dimensions correspondent à des longueurs d'onde de rayons X, or les molécules d'eau se dissocient lorsque la bulle atteint des dimensions correspondants aux fréquences UV.

Les photons ne sont pas produits quand les bulles naissent et grandissent car dans ce cas les parois ne se rencontrent pas pour former des complexes Ar^*OH mais il y a tout de même dissociation de la molécule d'eau.

La théorie de PLANCK sur la sonoluminescence, basée sur l'émission produite lorsque la fréquence de résonance de la bulle coïncide avec la fréquence de dissociation de la molécule d'eau fait référence à l'énergie du point Zéro (NB : rien à voir avec un quelconque ésotérisme, il s'agit ici de science tout ce qu'il y a de plus cartésienne !).

Selon la théorie du point Zéro, toute cavité est caractérisée par une infinité de fréquences de résonance et une énergie de Planck infinie.

La théorie de PLANCK lui-même est que seul les modes de résonance d'ordre supérieur à 1 et dont la fréquence est comprise dans le spectre de l'absorption (ou de l'émission) de la parois des bulles sont effectifs, et donc que l'énergie propre d'une cavité est finie (NB : ouf ! on a eut chaud...).

Toujours d'après PLANCK, l'émission de rayonnement n'est pas liée à la température des parois de la bulle. Ainsi, l'excitation des molécules d'eau des parois de la bulle peut être considérée comme causée par l'énergie du zéro absolu même si la bulle est à température ambiante. Cela veut dire que l'énergie

du zéro absolu ($E = \frac{1}{2}h\nu$) est toujours disponible pour exciter les parois des bulles.

Pour un photon de Planck produit par une paire de molécules d'eau diamétralement opposées en résonance avec la bulle, l'énergie de PLANCK $E = h\nu$ est la somme de l'énergie du zéro absolu de chacune des molécules d'eau. Ainsi, la théorie de PLANCK sur la SL est cohérente avec sa théorie du spectre du corps noir, dans laquelle la densité spectrale $\rho(\nu, T)$ inclut l'énergie du zéro absolu :

$$\rho(\nu, T) = \frac{4\nu^2}{c^3} \left[\frac{h\nu}{\exp(h\nu/kT) - 1} + \frac{1}{2}h\nu \right]$$

où k est la constante de BOLTZMAN et T la température absolue.

Le concept de spectre de corps noir de Planck vient d'un ensemble de théorie électrodynamiques proposées [21] par BOYER en 1969 (NB : dire que des gens se sont intéressés à ça pendant l'année érotique...).

Cependant, les formulations de PLANCK et BOYER diffèrent de celle d'EINSTEIN qui exclut l'énergie du Zéro absolu. Pour lui répondre, PLANCK affirma que l'énergie du zéro absolu fournissait une explication aux vibrations atomiques qui sont indépendantes de la température, ce qui expliquerait que les électrons libérés par effet photoélectrique sont indépendants de la température du métal et de l'intensité de l'excitation.

Ceci est à relier au pan de la théorie de PLANCK qui prédit que la molécule se dissocie par SL de la même façon qu'elle le serait par un laser extérieur.

A l'opposé, la théorie d'EINSTEIN sur la radiation des corps noirs requiert pour la dissociation de l'eau 10 eV, soit une température irréaliste de 100 000 K).

La théorie de PLANCK sur la Sonoluminescence permet donc d'expliquer la lumière créée par l'éclatement des bulles, mais aussi la dissociation de l'eau, durant la formation des bulles, en l'occurrence dans une chute d'eau (effet LENARD).

En effet, PREVENSIK [24], compta jusqu'à $2 \cdot 10^5$ molécules d'eau dissociées dans chaque bulle naissant dans les remous d'une chute d'eau, ce nombre étant cohérent avec le nombre de photons prédit par la SL (une recombinaison maximale de 80% laissant $4 \cdot 10^4$ à $2 \cdot 10^5$ ions hydronium et hydroxyles dans chaque bulle).

4) DISCUSSION

4.1) Revue historique

L'explication de LENARD sur la présence de vapeur négative à proximité d'une cascade et de vapeur positive près des remous est cohérente avec la présente théorie : l'eau des montagnes a en effet un pH basique, du fait de la chaux présente dans le lit des rivières. On a donc $P^- > P^+$.

Le travail de FARADAY concernant l'incident de Seghill montre que la vapeur chargée positivement est le fait d'une eau acide dans le bouilleur ($P^+ > P^-$). L'eau de pluie dissolvant le CO_2 de l'air et donne de l'acide carbonique ($pH \approx 5,8$). Mais dans le bouilleur, le CO_2 est éliminé par ébullition, le pH revient alors à 7. Voilà pourquoi il est rapporté que le bouilleur fonctionnant à l'eau de pluie n'a pas produit de charges ($pH=7, P^+ \sim P^-$).

(NB : à rapprocher avec l'inefficacité des bulleurs fonctionnant à + de $100^\circ C$?...)

La découverte de FARADAY selon laquelle la charge + de la vapeur disparaît lorsque l'on ajoute un peu de base à l'eau distillée peut être expliquée par le fait que le pH de l'eau distillée, légèrement acide à cause du CO_2 atmosphérique, est neutralisé par la base ($pH=7, P^+ \sim P^-$).

L'absence de charge dans la vapeur, pour de l'eau de Londres, est dû au fait que l'eau de la Tamise est de pH neutre.

Enfin, la coloration du papier Tumeric, par de l'eau additionnée de base, confirme bien le lien entre pH basique et production de vapeur chargée négativement ($pH > 7, P^- > P^+$). En ajoutant de l'acide, on retrouve un pH neutre, la charge disparaît ($pH=7, P^+ \sim P^-$).

L'influence du pH explique les doutes d'ARMSTRONG concernant la seule nature du contact comme paramètre déterminant le signe de la charge générée.

En 1840, la nature de l'eau fut donc désignée comme responsable de la charge de la vapeur. Puis en 1843, il changea d'avis et désigna la friction comme origine du chargement de la vapeur. Par la suite, avec cette deuxième explication, il se révéla incapable d'expliquer ses résultats obtenus avec de l'air comprimé ce qui l'amena à revenir sur l'origine chimique de la charge de la vapeur.

Le manque de rapports de mesure « d'époque » rend cependant difficile la comparaison entre les résultats de FARADAY et la présente théorie. Certainement, la théorie de charge par contact est tenable pour des huiles et des poudres, qui sont physiquement différentes des gouttes d'eau.

4.2) Charge by atomization and conservation of charge

Electrification by atomization is explained by the theory of the double ionic layer and the fluctuation of ions [11]. But these theories fail because they do not verify the conservation of total charge, unlike the present theory :

During atomization, the water flow is continuous, so that the loss of capacity to produce charges is not noticeable.

Conversely, let us consider electrification due to bubbles rising in a boiler, the volume of water is then finite.

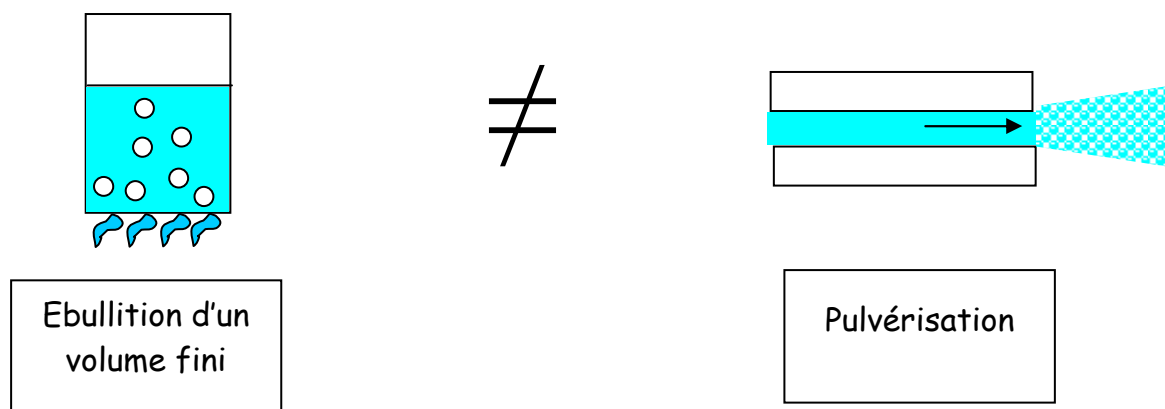


Figure 3

If one brings to a boil a finite volume of distilled water, the **theory of the double layer** predicts a production of negative vapor, the liquid becoming progressively acidic and positively charged, due to the orientation of water molecules (prediction contradicted by experimentation).

As for the **theory of the fluctuation of ions**, it is incapable of explaining the production of electrified vapor by such a device.

Conversely, the theoretical model defended here predicts a convergence of pH towards neutrality (confirmed by experimentation) :

If a slight perturbation comes to acidify distilled water, the vapor is first positively charged. The pH of the water then increases, due to the surplus of hydroxyl ions. Boiling will then produce a negative vapor, leading to a decrease in pH. Maintained in boiling, the volume of water will converge towards neutrality.

4.3) Electrisation de la vapeur

En 1840, PATTINSON [4] observa que la longueur Λ des arcs de décharges entre un bouilleur et un potentiel neutre était proportionnelle à la pression régnant dans le bouilleur, $\Lambda \propto P$.

En accord avec la présente théorie, la vapeur est électrisée lorsque des bulles naissent dans les gouttes d'eau bouillante, chaque bulles produisant au moins $4 \cdot 10^4$ ions hydronium et autant d'ions hydroxyles, ce qui électrise la vapeur. Ainsi, on peut émettre l'hypothèse que la longueur Λ est proportionnelle au nombre N de bulles naissant dans les gouttes, c'est-à-dire $\Lambda \propto N$.

En effet, le nombre exact de bulles N est inconnu, mais on sait qu'il varie inversement à la chaleur latente de vaporisation :

$H_{vap} = H_{vapeur} - H_{liquide}$ avec H_{vapeur} et $H_{liquide}$ les enthalpies respectives de l'eau en phase vapeur et en phase liquide.

Faisant l'hypothèse d'un flux de chauffage constant dans les expériences de PATTINSON, on devrait vérifier $N \propto 1/H_{vap}$ et donc $\Lambda \propto 1/H_{vap}$

En calculant H_{vap} à partir des mesures de pression effectuées par PATTINSON, on peut construire la figure 4 :

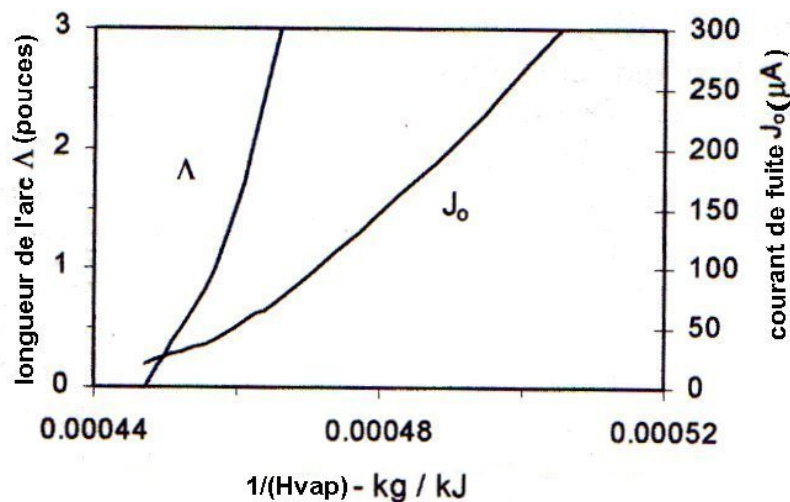


figure 4

Elle montre la proportionnalité entre Λ et $1/H_{vap}$, confirmant ainsi la proportionnalité entre le degré d'électrisation et le nombres de bulles produites.

En 1989, FINKE [8] répéta l'expérience de FARADAY sur l'électrisation de la vapeur. Comme son illustre prédécesseur, FINKE mesura le courant de fuite J_0 entre la buse de sortie du bouilleur et la Terre :

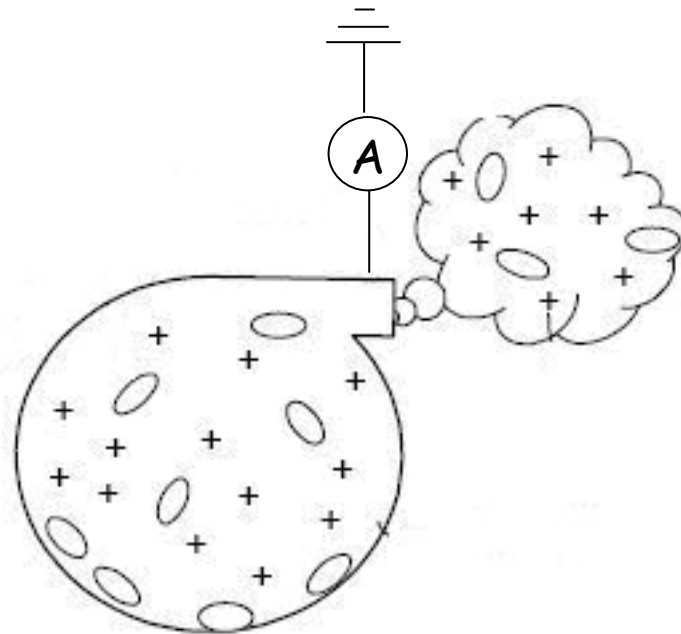


Figure 5

De même que la longueur de l'arc électrique de décharge, J_0 devrait varier de façon inversement proportionnelle à la chaleur latente de vaporisation, c.a.d $J_0 \propto H_{vap}$.

Mais les résultats de FINKE montrent des inversions de la charge de la buse de sortie. La figure 4 montre, en laissant de côté ces inversions, que J_0 est proportionnel à $1/H_{vap}$, renforçant la thèse défendue ici.

Pour ce qui est des inversions de charge constatées par FINKE, il y a tout lieu de croire qu'elles sont dues à une contamination chimique.

5. CONCLUSION

Il a été exposé ici une origine pour l'électrisation de la vapeur, à savoir la naissance des bulles issues de l'ébullition. L'électrisation ayant lieu lorsque les molécules d'eau des parois des bulles se dissocient par QED en ions hydroxyles et hydronium. La séparation des charges est causée par les phénomènes d'attraction-répulsion des molécules constituant les parois des bulles (la charge de cette paroi étant fonction du pH de l'eau).

La présente théorie peut d'autre part expliquer l'électrisation par brouillard de liquides, chauds ou froids. Dans ce cas, c'est la rapide décompression lors du passage de la buse qui est à l'origine de la naissance des bulles dans le liquide.

REFERENCES []

- [1] W.G. Armstrong, On the electricity of a jet of steam issuing from a boiler, in Letters to M. Faraday, Phil. Mag. XVII (1840) 370-374.
- [2] C. Schafhaeutl, Remarks on the electricity of steam, Phil. Mag., XVII (1840) 449-452.
- [3] W.G. Armstrong, On the electricity of effluent steam, XVII (1840) 452-457
- [4] H. L. Pattinson, Further experiments on the electricity of steam, Phil. Mag., XVII (1840) 457-462.
- [5] W.G. Armstrong, On the Efficacy of steam as a means of producing electricity, and on a curious action of a jet of steam upon a ball, XXII (1843)
- [6] M. Faraday, *Experimental Researches in Electricity*, Vol. II, p106-126, Dover, 1965.
- [7] M.R.O. Jones and J.Bond, Electrostatic hazards associated with marine chemical tanker operations, Chem. Eng. Res. Des., 62 (1984) 327-333 .
- [8] J. Finke, Electrostatic effects of charged steam jets, J. Electrostatics, 23 (1989) 69-79.
- [9] A.D. Moore, *Electrostatics and its applications*, John Wiley, 1973.
- [10] Lenard, P. "About the electricity of waterfalls", *Ann. Phys. (Leipzig)*, 46, (1982) 584-636.
- [11] G.L. Natanson, The problem of balloelectric phenomenon, Dokl. Akad. Nauk, SSSR, 73 (1950) 975-978.
- [12] L.B. Loeb, *Static Electrification*, Springer-Verlag, Berlin, 1958.
- [13] C. Pounder, Charge-carrying particles from Leidenfrost boiling (an aspect of saline contact charging) Part I. Investigation of the Leidenfrost phenomenon and the discovery and examination of particles, J. Electrostatics, 9 (1980) 159-175.
- [14] C. Pounder, Charge-carrying particles from Leidenfrost boiling (an aspect of saline contact charging) Part II. The electrical properties of Leidenfrost drops and associated particles, J. Electrostatics, 9 (1980) 177-182.
- [15] T.V. Prevenslik, Weakening of hurricanes and tornadoes by the suppression of lightning, Submitted to Weather Modification, February 2001
- [16] T.V. Prevenslik, Cavity QED and the Leidenfrost phenomenon, Submitted to J. Electrostatics, March 2001
- [17] H. Frenzel and H. Schultes, Ultrasonic vibration of water, Z. Phys. Chem., 27B (1934) 421.
- [18] Y.T. Didenko and S.P. Pugach, Sonoluminescence spectra of water, J. Phys. Chem. (1992) 9742-9750.
- [19] A.J. Walton and G.T. Reynolds, Sonoluminescence, Adv. Phys., 33 (1984) 595-630.
- [20] T.V. Prevenslik, Dielectric polarization in the Planck theory of sonoluminescence, Ultrasonics-Sonochemistry, 5 (1998) 93-105.
- [21] T.A. Boyer, Classical statistical thermodynamics and electromagnetic zero-point radiation, Phys. Rev., 186 (1969) 1304-1318.
- [22] P.W. Milonni, *Foundations of Radiation Theory and Quantum Electrodynamics*, A. Barut, Editor, Plenum, New York, 1980.
- [23] M. Planck, *Theory of Heat radiation*, Translated by M. Masius, Dover 1956.
- [24] T.V. Prevenslik, Niagara falls: ion emission and sonoluminescence ESA 2000. Brock University Niagara Falls Ontario June 18-21 2000.
- [25] R.T. Hiller, K. Weninger, S.J. Putterman, and B.P. Barber, Effect of noble gas doping on single-bubble sonoluminescence, Science, 266 (1994) 248-251.