



Expertise scientifique du dispositif « osmose-inverse » de la SARL OJA

Vézénobres, 29 juillet 2017

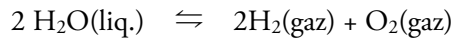
Préambule

Le but de ces tests était de déterminer les qualités d'une eau osmosée au moyen d'un matériel fourni par Mr. Alexis Destombes (co-gérant SARL OJA) et Mr. Marc Delnatte (gérant SARL OJA, basée au 31 rue du grand Chemin 59 100 Roubaix). Nous avons choisi de mesurer 9 paramètres: température, pression atmosphérique, pH, potentiel d'oxydo-réduction (ORP) conductivité électrique, résistivité électrique, solides totaux dissous (TDS), rH2 et puissance dissipatrice. L'eau liquide est en effet un milieu qui présente une forte affinité pour les espèces cationiques ou anioniques. La présence d'ions en solution peut se détecter via trois mesures différentes: conductivité électrique, pH et rH2. Lorsqu'une eau présente des sels dissous, elle devient apte à conduire le courant électrique. Pour une paire d'électrodes plongées dans l'eau, on peut montrer que la résistance électrique au passage du courant qui s'exprime en ohms (symbole Ω) est proportionnelle à la distance l séparant les deux électrodes et inversement proportionnelle à leur aire A . Le coefficient de proportionnalité entre la résistance électrique et le rapport (l/A) s'appelle la résistivité électrique (notée par la lettre grecque rho: ρ) et se trouve être d'autant plus faible que la concentration en sels dissous est plus grande. Compte tenu de sa définition, l'unité de résistivité électrique est le ohm-mètre ($\Omega \cdot m$). L'inverse de cette résistivité définit ce que l'on appelle la conductivité électrique (notée par la lettre grecque sigma: σ) et se trouve d'autant plus faible que la concentration en sels dissous est plus faible. Étant l'inverse d'une résistivité, l'unité de conductivité électrique est le siemens par mètre ($S \cdot m^{-1}$), le siemens (symbole $S = \Omega^{-1}$) étant l'unité de conductance électrique (inverse de la résistance électrique). Pour ne pas avoir de valeurs trop petites ou trop grandes, on utilise aussi les préfixes, micro- (μ), milli- (m), kilo- (k) ou Méga (M). La mesure de la conductivité électrique ne permet pas à elle seule de bien caractériser les solutions aqueuses car l'eau pure se caractérise par le phénomène d'autoprotolyse:



qui se caractérise par une constante d'équilibre $K_w = [\text{H}_3\text{O}^{\oplus}] \cdot [\text{OH}^{\ominus}] = 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ à $T = 25^\circ\text{C}$. Certaines espèces ioniques sont susceptibles de changer les concentrations en espèces $\text{H}_3\text{O}^{\oplus}$ ou OH^{\ominus} et l'on a l'habitude d'introduire la notion de pH qui pour des

solutions diluées est égal au cologarithme de la concentration en protons solvatés H_3O^{\oplus} , la valeur $pH = 7$ correspondant à l'eau pure. Enfin, l'eau pure se caractérise également par le phénomène d'auto-électrolyse :



qui se caractérise par une autre constante d'équilibre $K_E = p(H_2)^2 \cdot p(O_2) = 8,3 \cdot 10^{-84} \text{ atm}^3$ à $T = 25^\circ C$ et $p = 1 \text{ atm}$. Certaines espèces ioniques sont également susceptibles de perturber cet équilibre et il est alors commode d'introduire la notion de rH_2 comme étant le cologarithme de la pression partielle en hydrogène la valeur $rH_2 = 28$ correspondant à l'eau pure. D'un point de vue pratique, si l'on connaît le potentiel rédox E_h , le pH et la température t , il suffit d'appliquer la relation suivante:

$$E_h = \frac{k_B T \cdot \ln 10}{2e} \cdot (rH_2 - 2 \cdot pH) \Rightarrow rH_2 = \frac{10,0847 \cdot [E_h (mV) + E_B]}{273,15 + t(^{\circ}C)} + 2 \cdot pH$$

où T est la température thermodynamique exprimée en Kelvin, $e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ la charge électrique élémentaire, $k_B = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J} \cdot K^{-1}$ la constante de Boltzmann et $E_B \approx 200 \text{ mV}$ une constante qui dépend de la température et permet de ramener le potentiel rédox affiché à celui que l'on mesurerait si on utilisait comme référence une électrode normale à hydrogène (ENH). Une autre manière d'exprimer la qualité de l'eau est de considérer la puissance électrochimique de l'eau qui s'exprime selon:

$$\left\{ \begin{array}{l} E_h = R \cdot I \\ R = \rho \cdot \frac{A}{V} \end{array} \right. \Rightarrow P = E_h \cdot I = \frac{E_h^2}{R} = \frac{V \cdot E_h^2}{A \cdot \rho}$$

où V est le volume de la cellule, A l'aire des électrodes en contact avec la solution, R la résistance électrique de la cellule de mesure de résistivité ρ parcourue par un courant d'intensité I . Compte tenu de la relation unissant le potentiel rédox au pH et au rH_2 de la solution, il est possible de caractériser la solution aqueuse par un seul paramètre P homogène à une puissance électrique. Pour une cellule standard de volume $V = 1 \text{ cm}^3$, équipée d'électrodes d'aire $A = 1 \text{ cm}^2$, on a:

$$P / \mu W = 984,28 \cdot 10^{-5} \times \frac{[(t / ^{\circ}C + 273,15) \cdot (rH_2 - 2 \cdot pH)]^2}{\rho / \Omega \cdot cm}$$

Pour fixer les idées, une eau est considérée comme ayant une faible puissance électrochimique lorsque $P < 30 \mu W$ et est considérée comme étant fortement active électrochimiquement dès que $P > 100 \mu W$.

Enfin, il existe une corrélation directe entre la quantité de solides dissous et la conductivité électrique d'une solution : $TDS = KE \times \sigma$, dans laquelle KE est un facteur de conversion qui varie entre 0,5 et 0,8, en fonction du liquide et des conditions atmosphériques (température, pression).

Protocole de mesure

Les mesures ont été effectuées au moyen d'un multimètre HI98194 (HANNA instruments) équipé d'une sonde HI7698194-1 pour les mesures de pH/ORP d'une sonde HI7698194-3 pour les mesures de conductivité électrique. Les électrodes ont été

calibrées au moyens d'une solution standard HI9828-0, le facteur KE pour le calcul du TDS a été fixé à 0,5. Trois mesures successives ont été réalisées sur 3 prélèvements différents afin de calculer une moyenne et un écart-type donné entre parenthèses dans le tableau récapitulatif. L'osmoseur a été monté par nos soins en suivant les instructions disponibles sur internet. Nous avons utilisé l'eau du robinet de la commune de Vézénobres dans le Gard (30360) dont la composition minérale reste à déterminer.

Résultats

Le tableau 1 montre les caractéristiques de l'eau du Robinet de la commune de Vézénobres. Il s'agit d'une eau fortement minéralisée de pH légèrement alcalin et oxydante puisque son facteur rH_2 est nettement supérieur à 28, point de neutralité rédox de l'eau pure. L'eau étant chlorée par la municipalité, cette haute valeur du rH_2 n'est pas surprenante. Avec un puissance dissipatrice de $231 \mu W$ et un TDS de $446 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, cette eau ne satisfait pas aux critères de bio-compatibilité préconisée par notre association pour une eau de boisson quotidienne qui sont: $6,5 \leq \text{pH} \leq 7,5$; $20 \leq rH_2 \leq 28$; $\text{TDS} < 50 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ et $P < 30 \mu W$.

Paramètre	Eau du robinet
Température / °C	24,86(8)
Pression / kPa	100,00(1)
pH	7,41(8)
ORP / mV	304(5)
Conductivité/ $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	894(10)
Résistivité / $\Omega\cdot\text{cm}$	1119(10)
TDS / $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	446(5)
rH_2	32,0(2)
Puissance / μW	231(6)

Tableau 1: Caractéristiques physico-chimiques de l'eau du robinet de la commune de Vézénobres dans le Gard (30360).

Paramètre	Eau osmosée
Température / °C	24,73(4)
Pression / kPa	99,95(1)
pH	6,71(3)
ORP / mV	314(1)
Conductivité/ $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	53(5)

Paramètre	Eau osmosée
Résistivité / $\Omega \cdot \text{cm}$	19070(1560)
TDS / $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	26(2)
$r\text{H}_2$	30,98(2)
Puissance / μW	14(1)

Tableau 2: Caractéristiques physico-chimiques de l'eau en sortie de membrane.

Pour mémoire on attend d'une eau osmosée de haute qualité les paramètres suivants: $\rho \approx 30\,000 \Omega \cdot \text{cm}$ (minéraux retirés), $\text{pH} \approx 6,5$ (en raison du dioxyde de carbone dissous), $r\text{H}_2 \approx 22$ et $P \approx 2 \mu\text{W}$. Le tableau 2 donne les résultats obtenus en sortie de membrane de l'osmoseur. L'eau est devenue légèrement acide et une grosse partie des ions minéraux ont été éliminés puisque le TDS est tombé à $26 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. Par contre le $r\text{H}_2$ reste oxydant alors qu'il devrait être légèrement réducteur. Comme on observe la formation de bulles de gaz lorsqu'on laisse reposer l'eau osmosée plusieurs minutes ceci pourrait être lié à la présence de gaz dissous comme le dioxygène. La résistivité est bonne mais pas exceptionnelle ce qui signifie que la membrane est de qualité moyenne. La puissance dissipatrice est correcte mais reste élevée en raison du $r\text{H}_2$ trop haut.

Paramètre	Eau osmosée et traitée
Température / $^{\circ}\text{C}$	24,52(5)
Pression / kPa	99,94(1)
pH	6,82(3)
ORP / mV	322(1)
Conductivité/ $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$	52(5)
Résistivité / $\Omega \cdot \text{cm}$	19 117(427)
TDS / $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	26(1)
$r\text{H}_2$	31,5(1)
Puissance / μW	14,5(3)

Tableau 3: Caractéristiques physico-chimiques de l'eau après passage par la cartouche post-membrane.

Le tableau 3 donne les résultats obtenus après passage par la cartouche post-membrane. L'eau est devenue moins acide et plus oxydante et sa minéralité n'a pas changé.

Paramètre	Eau du robinet
Température / $^{\circ}\text{C}$	24,71(4)

Paramètre	Eau du robinet
Pression / kPa	99,99(2)
pH	6,79(2)
ORP / mV	326(3)
Conductivité/ $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	55(3)
Résistivité / $\Omega\cdot\text{cm}$	17 873(640)
TDS / $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	28(1)
rH ₂	31,55(6)
Puissance / μW	14,8(4)

Tableau 4: Caractéristiques physico-chimiques de l'eau après passage par la cartouche de minéralisation.

Le tableau 4 donne les résultats obtenus après passage par la cartouche de minéralisation. Le pH et le rH₂ n'ont pas varié de manière significative et l'on note une très faible variation du TDS signifiant que la cartouche change très peu la minéralité. Pour confirmer cela, une nouvelle série de trois mesures a été faite dont les résultats sont donnés dans le tableau 5.

Paramètre	Eau osmosée et traitée
Température / °C	24,80(5)
Pression / kPa	100,01(1)
pH	6,66(2)
ORP / mV	314(1)
Conductivité/ $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	52(4)
Résistivité / $\Omega\cdot\text{cm}$	19 317(1552)
TDS / $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	26(2)
rH ₂	30,9(1)
Puissance / μW	14,0(1)

Tableau 5: Caractéristiques physico-chimiques de l'eau après passage par la cartouche de minéralisation (autre série de mesures).

Compte tenu des erreurs de mesure, cela confirme la faible influence de cette cartouche sur la minéralité totale.

Paramètre	Eau osmosée et traitée
Température / °C	24,73(6)
Pression / kPa	100,01(2)
pH	6,57(1)
ORP / mV	333(2)
Conductivité/ $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	49(3)
Résistivité / $\Omega\cdot\text{cm}$	20 450(1134)
TDS / $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	25(2)
rH ₂	31,32(7)
Puissance / μW	14,2(7)

Tableau 6: Caractéristiques physico-chimiques de l'eau après passage par la cartouche UV.

Le tableau 6 donne les résultats obtenus après passage par la cartouche UV. Le pH est comme attendu devenu plus acide et le rH₂ plus oxydant (formation de radicaux) avec une invariance de la minéralité totale.

Paramètre	Eau osmosée et traitée
Température / °C	25,11(9)
Pression / kPa	99,98(1)
pH	6,5(1)
ORP / mV	316(3)
Conductivité/ $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	50(9)
Résistivité / $\Omega\cdot\text{cm}$	20 370(3240)
TDS / $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	25(4)
rH ₂	30,6(2)
Puissance / μW	14(2)

Tableau 7: Caractéristiques physico-chimiques de l'eau après passage par les cartouches post-membrane, minéralisation et UV.

Le tableau 7 donne les résultats obtenus après passage par les cartouches post-membrane, minéralisation et UV. On note de très faibles variations par rapport à l'eau osmosée en sortie de membrane. L'effet oxydant des UV a été atténué.

Paramètre	Eau osmosée et traitée
Température / °C	25,17(7)
Pression / kPa	100,00(1)
pH	7,4(1)
ORP / mV	282(6)
Conductivité/ $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	79(2)
Résistivité / $\Omega\cdot\text{cm}$	12 667(320)
TDS / $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	40(1)
rH ₂	31,2(5)
Puissance / μW	18,7(8)

Tableau 8: Caractéristiques physico-chimiques de l'eau après passage par les cartouches post-membrane et alcalinisante.

Le tableau 8 donne les résultats obtenus après passage par les cartouches post-membrane et alcalinisante. Le pH a effectivement augmenté d'environ une unité et l'eau est devenue plus oxydante avec une variation très significative de la minéralité totale. Bon point: la puissance dissipatrice reste suffisamment basse.

Paramètre	Eau osmosée et traitée
Température / °C	25,23(7)
Pression / kPa	100,00(1)
pH	7,25(7)
ORP / mV	290(2)
Conductivité/ $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	76(10)
Résistivité / $\Omega\cdot\text{cm}$	13 203(1704)
TDS / $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	38(5)
rH ₂	31,21(6)
Puissance / μW	19(2)

Tableau 9: Caractéristiques physico-chimiques de l'eau après passage par toutes les cartouches fournies avec l'osmoseur.

Le tableau 9 donne les résultats obtenus après passage par toutes les cartouches fournies avec l'osmoseur. On retrouve à peu de choses près les mêmes caractéristiques que le tableau 8, signe que c'est la cartouche alcalinisante qui fixe dans ce cas les caractéristiques de l'eau.

Conclusions

Le dispositif d'osmose inverse testé fonctionne de manière satisfaisante. L'eau produite est de bonne qualité mais possède un rH₂ légèrement oxydant. Un traitement légèrement réducteur via l'ajout de quelques gouttes de jus de citron, ou par ajout de dihydrogène permet de corriger facilement ce point. La puissance dissipatrice reste dans tous les cas inférieure à 30 μ W, ce qui en fait une excellente eau de boisson.

Prof. Marc HENRY



Association Natur'Eau Quant

186 chemin du mas Audibal , F-30460 Vézénobres

Association loi 1901 - Organisme non assujetti à la TVA

IBAN FR48 2004 1010 1506 5484 9C03 644 - BIC PSSTFRPPSTR