



Département
de Physique
—
École normale
supérieure



INSTITUT
PIERRE-GILLES
DE GENNES
Pour la microfluidique



Gabin Chateau
Andrea Combette

Projet Expérimental : **Microfluidique**

Equipe Micromégas

I Mise en contexte

Une des problématique majeure de ce millénaire est l'accès à l'eau potable, notamment dans les pays défavorisés. Pour tenter de résoudre ce problème qui pourrait s'accroître dans les siècles à venir, des usines de filtration d'eau ont été construites dans le but de dessaler l'eau de mer pour en faire de l'eau potable et consommable.

La filtration, ou désalinisation de l'eau de mer apparaît donc tout d'abord comme une solution. Cependant, de façon contre-intuitive, c'est en réalité une solution relativement énergivore qui nécessite de grandes et puissantes installations. En effet, il est nécessaire lors du désalement de l'eau de lutter contre le phénomène de pression osmotique.

Tentons d'évaluer un ordre de grandeur de la force exercée par la pression osmotique, qu'il faut donc contrer pour espérer désaler de l'eau. On a :

$$\Pi \approx cRT$$

où l'on a noté Π la pression osmotique, c la concentration en soluté dans la solution, R la constante des gaz parfaits et T la température [1].

On obtient alors pour une température ambiante et une salinité de 35 g/L, une pression d'environ 25 bar. Ainsi, pour maintenir un débit suffisant, de nombreuses usines de désalinisation utilisent des pressions de l'ordre de 70 bar. On comprend alors la difficulté de mettre en place un tel système de désalinisation dans les pays les plus démunis. D'où la nécessité d'essayer de développer d'autres solutions de désalinisation, plus efficaces et moins énergivores.

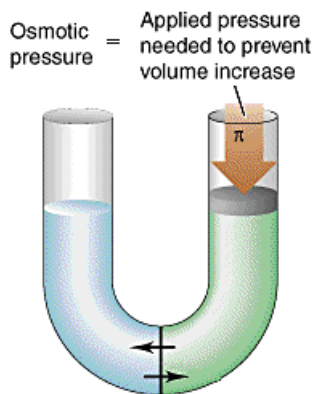


FIGURE 1 – Illustration de la pression osmotique inverse

Notre projet expérimental se concentre donc sur un phénomène permettant de fournir une pression supplémentaire, c'est l'électro-osmose. En effet si l'on applique une différence de potentiel de part et d'autre de la membrane, on observe un mouvement du solvant [1] que l'on peut espérer pouvoir exploiter pour filtrer une solution aqueuse.

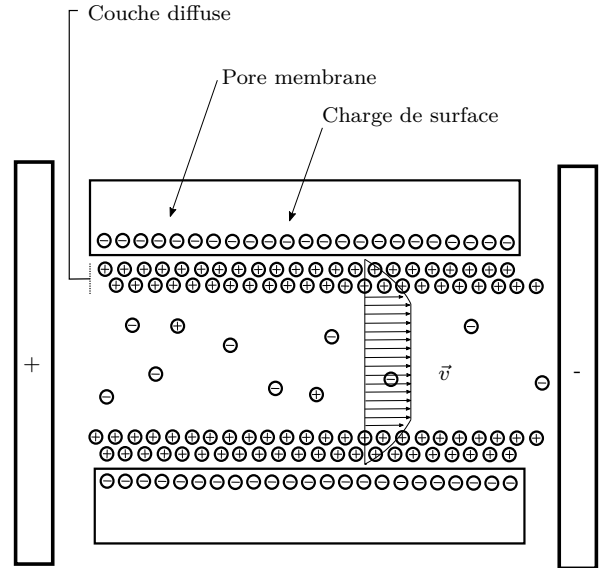


FIGURE 2 – Electro osmose entre 2 électrodes

II Caractérisation de la cellule

On étudie ici une cellule composée de deux électrodes entre lesquelles on dispose une membrane positionnée entre deux feutres, comme schématisé ci-dessous. Le dispositif consiste à faire circuler une solution de chlorure de sodium entre les deux électrodes.

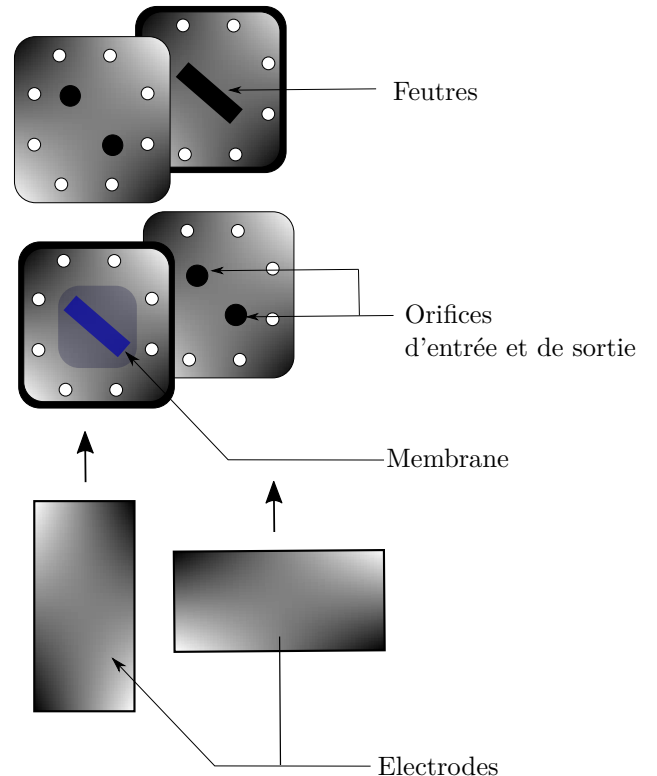


FIGURE 3 – Différents constituants de la cellule

L'objectif de cette étude est de caractériser la réponse de plusieurs membranes à une excitation sinusoïdale (en différence de potentiel entre les deux électrodes). Pour cela, on considère le montage expérimental schématisé plus bas. On mesure la quantité de liquide traversant la membrane à l'aide d'un capteur de débit.

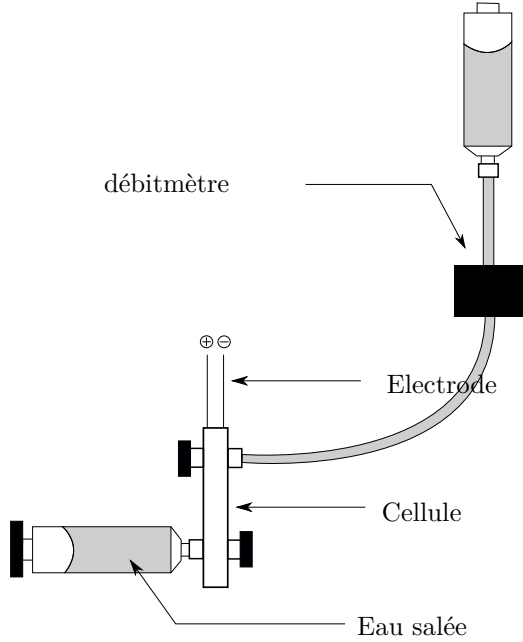


FIGURE 4 – Montage

On considère ici trois membranes différentes, que l'on vient tester sans déposer de matériau dessus. On viendra ensuite comparer les résultats avec dépôt et sans dépôt.

Réponse en fréquence de la cellule Afin d'avoir un aperçu des caractéristiques de la cellule, nous avons réalisé une étude fréquentielle de cette dernière.

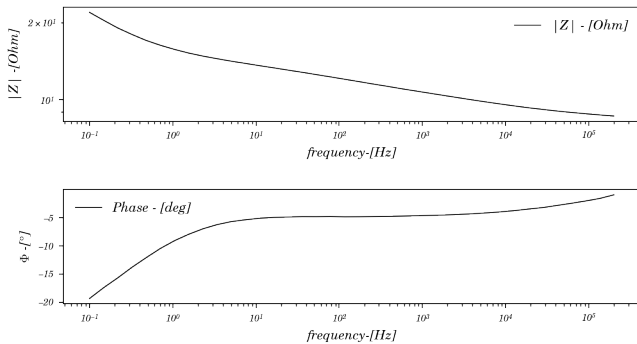


FIGURE 5 – Diagramme de bode de la cellule

Il apparaît à basses fréquences la présence d'effets capacitifs plus importants qu'à haute fréquence. Une explication plausible réside dans le fait que, à basses fréquences, le temps de changement de polarisation

des électrodes est tellement long que le champ électrique créé par la différence de potentiel entre les deux électrodes a le temps de faire bouger les charges. La densité de charges est modifiée, d'où l'apparition d'un effet capacitif de la membrane à basses fréquences. Le schéma ci-dessous représente la densité de charges qu'il se forme à basses fréquences, où l'on note d_- la distance à l'électrode $-$. Au contraire à haute fréquence cet équilibre ne peut plus se faire, et la densité des cations devient homogène sur la membrane. Il faut ainsi dépasser une certaine fréquence $\frac{1}{\tau_s} \equiv 1/RC$ pour pouvoir avoir un déplacement des ions significatif, empêché à basse fréquence par ces effets capacitifs.

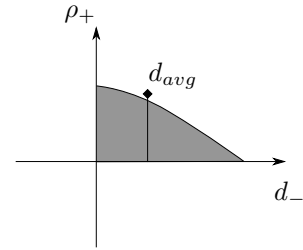


FIGURE 6 – Allure de la densité de cations en fonction de la distance à l'électrode - à basses fréquences

III Etude de la réponse en débit de trois membranes

1 Membrane en Cellulose 25nm

La première membrane considérée est en cellulose, la taille des pores est de 25nm. A l'aide du dispositif expérimental ci-dessus, on enregistre le débit mesuré en fonction du temps.

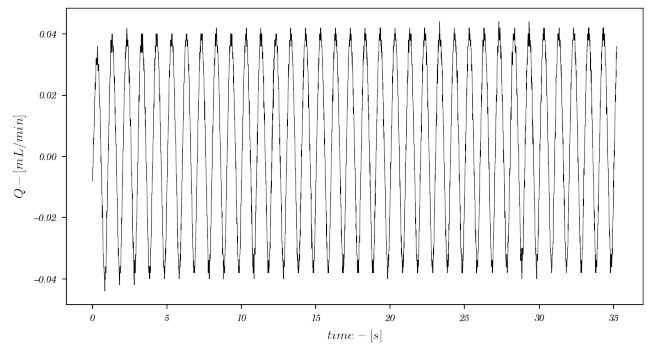


FIGURE 7 – Débit mesuré en fonction du temps pour $f = 1Hz$, $V = 1V$ et $c = 10^{-2}mol.L^{-1}$.

Le signal semble à vue d'oeil symétrique par rapport à l'axe des ordonnées, le liquide circule de la même façon dans un sens et dans l'autre : il n'y a pas d'effet diode. On s'intéresse aussi à la caractéristique des électrodes, c'est à dire le tracé de l'intensité traversant les électrodes en fonction de la ddp à leurs bornes. On calcule ensuite l'aire de l'ellipse

obtenue, qui est à interpréter comme une estimation de la puissance à fournir pour dessaler l'eau. Elle représente donc un indicateur énergétique particulièrement important.

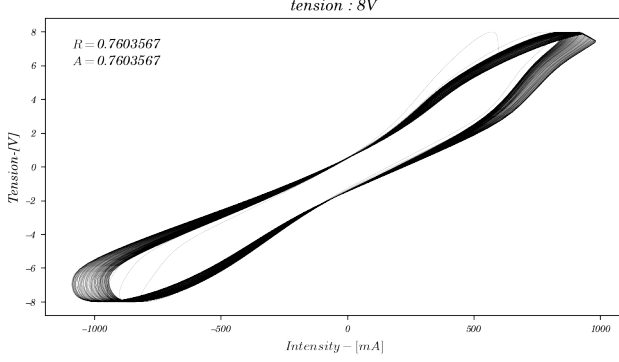


FIGURE 8 – Caractéristique $I = f(V)$ pour $f = 1Hz$, $V = 1V$ et $c = 10^{-2}mol.L^{-1}$.

On cherche ensuite à évaluer la dépendance du signal obtenu en fonction de la fréquence d'excitation, de la tension d'entrée et de la concentration en ions. On trace alors, en fixant deux de ces trois paramètres et en faisant varier le dernier, l'amplitude du signal, le débit moyen¹, l'aire à l'intérieur de la caractéristique et le taux de rectification².

a Dépendance en fréquence

Résultats On fixe ici $V = 1V$ et $c = 10^{-2}mol.L^{-1}$

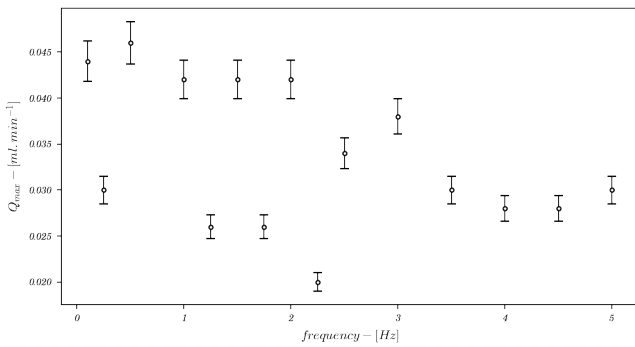


FIGURE 9 – Débit maximal Q_{max} en fonction de f

1. L'amplitude du signal est calculée en prenant le débit maximal du signal auquel on soustrait le débit constant lorsque le système n'est pas excité, tandis que le débit moyen est l'intégrale du signal auquel on a soustrait le débit constant en l'absence d'excitation.

2. On définit le taux de rectification R par $R = \frac{|I_{max}|}{|I_{min}|}$

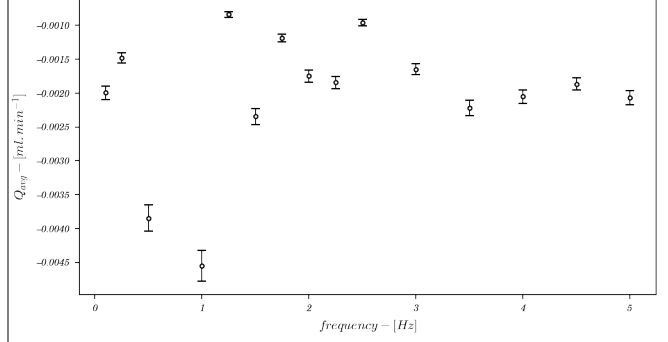


FIGURE 10 – Débit moyen Q_{avg} en fonction de f

Interprétation Malgré la symétrie apparente du signal en fonction du temps, on remarque que le débit moyen est non nul dans la cellulose pour l'ensemble des fréquences testées. On suppose que cela est dû à une asymétrie "naturelle" du matériau, qui provoque un effet diode. On est alors dans le cas d'une diode géométrique décrite avec précision dans l'article [2]. On observe en effet la mise en place d'un gradient du nombre de Dukheim $Du = \frac{|\sigma|}{ecR}$ dans cette configuration, qui engendre un débit moyen non nul (Cf. Figure 5 de l'article). Concernant l'étude en fréquence, nous pouvons remarquer que lorsque la fréquence augmente, le Q_{avg} reste à peu près constant. Cela étant raisonnable étant donné que dans cette configuration le σ du pore n'est pas sensé changé avec la fréquence, le gradient du Du n'est donc pas sensé changer. Quand à la valeur de Q_{max} , on remarque que celle-ci diminue en fonction de la fréquence. En effet, à basses fréquences, le champ électrique varie sur plus de temps, ce qui laisse plus de temps aux ions pour accélérer, d'où leur vitesse plus élevée à basses fréquences, et donc un débit plus élevé. Puisque cet effet ne dépend pas du sens du champ \vec{E} , il ne se répercute que sur Q_{max} et non sur Q_{avg} (qui moyenne sur le temps, donc sur le sens de \vec{E}). Cette asymétrie qui diminue avec la fréquence, est aussi visible sur la Figure 14, en effet si le facteur des aires A , lui diminue avec la fréquence (asymétrie de l'écoulement).

b Dépendance en tension

Résultats On fixe ici $f = 2Hz$ et $c = 10^{-2}mol.L^{-1}$. On représente Q_{avg} et Q_{max} en fonction de V .

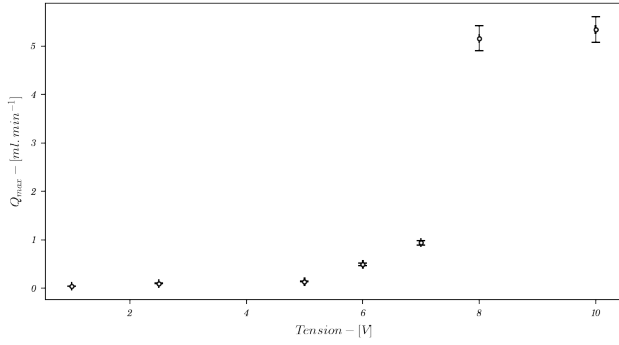


FIGURE 11 – Débit maximal Q_{\max} en fonction de V

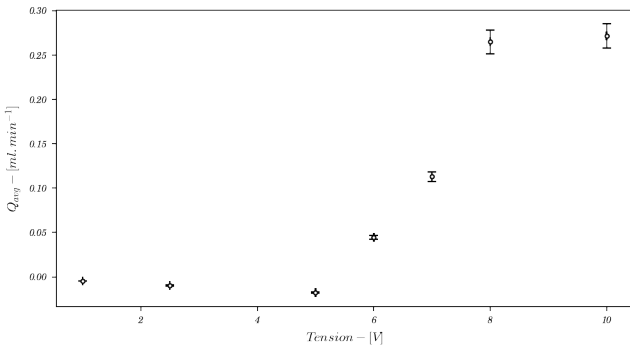


FIGURE 12 – Débit moyen Q_{avg} en fonction de V

Interprétation En ce qui concerne la tension, on observe une tension seuil à partir de laquelle Q_{avg} et Q_{\max} augmentent rapidement. Ceci semble correspondre à un effet diode (cf. caractéristique d'une diode électrique). Pour Q_{\max} ceci semble raisonnable puisqu'on augmente la force qui meut les particules. Au contraire pour Q_{avg} l'explication est beaucoup moins triviale. Cette effet diode en tension pourrait trouver son origine dans la modification de la densité de charge négative à partir d'une certaine tension seuil, nous nous trouverions alors dans le cas d'une diode de type charge [2], d'où le renforcement du débit, avec la mise en place d'un gradient encore plus fort du nombre de Dukheim au sein du pore. Cette tension seuil semble d'ailleurs croître avec la taille du pore (on passe de 4 à 6V en étudiant la cellulose 100nm), ce qui semblerait raisonnable étant donné qu'il y a plus de charges à déplacer. Cependant l'origine de cette asymétrie permanente dans la disposition des charges n'est pas très claire. On retrouve d'ailleurs ce seuil sur le graphe représentant Q^2 en fonction de I^2 (Figure 16).

c Dépendance en concentration

Résultats On fixe ici $f = 2\text{Hz}$ et $V = 1\text{V}$.

3. Se référer à l'annexe a) pour l'explication du calcul de A

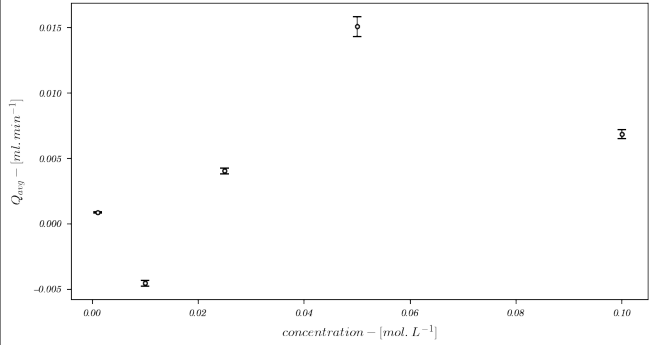


FIGURE 13 – Débit moyen Q_{avg} en fonction de c

Interprétation Le débit en fonction de la concentration est croissant puis décroît. En effet, plus il y a d'ions dans le liquide, plus il va y avoir d'interactions entre l'eau et ces ions qui vont être à l'origine du déplacement de l'eau. Cependant, lorsque trop d'ions (de même nature) sont présents, des interactions répulsives apparaissent et s'opposent aux interactions entre les ions et l'eau : on peut supposer que ce phénomène justifie la décroissance du débit aux hautes concentrations.

d Etude du facteur de rectification

Résultats On représente, en faisant varier l'un des paramètres f et V le facteur de rectification R en fonction du paramètre en question, ainsi que A le rapport de l'aire positive de l'ellipse sur l'aire négative. Ces deux valeurs sont une bonne représentation de l'asymétrie de l'écoulement, le facteur des aires A lui nous renseigne d'avantage sur l'impulsion des ions, tout au long de leur mouvement, et sur l'asymétrie de cette dernière. En effet il représente le rapport des puissances électriques dépensées par l'écoulement dans les deux sens ³.

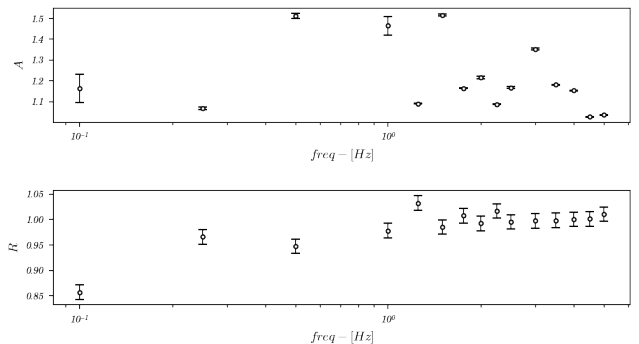


FIGURE 14 – R et A en fonction de f

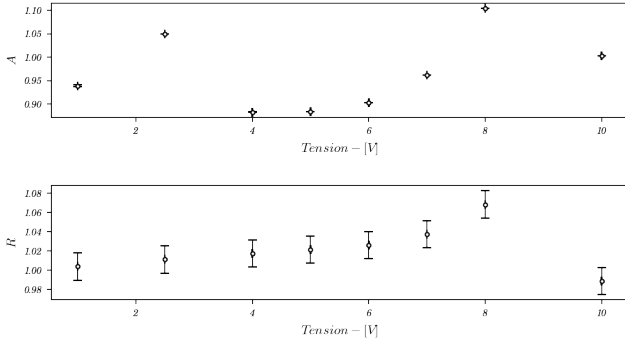


FIGURE 15 – R et A en fonction de V

Interprétation Nous observons ici les conséquences directes de l'effet diode, que nous avons évoqué lors de l'étude du débit moyen et maximal. Il apparaît en effet que la rectification reste à peu près constante pour les fréquences considérées, avec un mouvement plus important des ions pour les basses fréquences, en effet le facteur A est plus grand, ce qui traduit un élargissement de l'ellipse puisque la rectification elle reste identique. Concernant l'étude en tension des deux facteurs, il apparaît une forte variation conjointe de ces deux derniers, en effet nous passons de forte valeurs de rectification et de facteurs d'aires à des facteurs beaucoup plus petits. Il semblerait donc que le mouvement des ions se soit inversé à forte tension. Cette inversion reste cependant assez mystérieuse puisque le débit lui continue d'augmenter. Une explication possible est la mise en mouvement des cations proches de la couche diffuse, entraînant moins d'eau que les anions moteurs de l'écoulement.

e Puissance injectée et puissance du liquide

Résultats On représente, en faisant varier l'un des paramètres f , V et c (Q^2)_{avg} en fonction de (I^2) _{avg} l'intensité moyenne au carré (en A^2). Autrement dit, ce graphe représente la puissance donnée au liquide en fonction de la puissance électrique injectée dans le système.

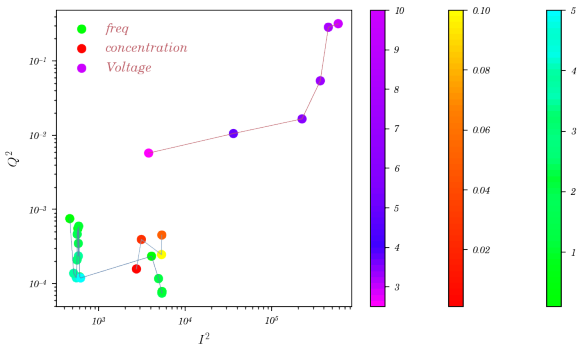


FIGURE 16 – $(Q^2)_{avg}$ en fonction de $(I^2)_{avg}$

Interprétation : On distingue ici qu'à très petites fréquences I^2 est un ordre de grandeur au dessus des valeurs obtenues pour des fréquences plus hautes. Puisque I représente un courant de charge et Q un débit de particules (eau + ions), alors on en déduit qu'à hautes fréquences autant d'eau traverse la membrane alors que moins d'ions sont déplacés : l'interaction ions-eau est donc plus forte.

f Bilan

Bilan Bien qu'en théorie, si la cellulose se comportait comme un matériau parfaitement symétrique, nous ne devrions pas mesurer de débit moyen, l'existence d'un débit moyen non nul confirme l'hypothèse selon laquelle le fait que les pores du matériau ne soient pas symétriques induit un effet diode géométrique "naturel".

2 Membranes en cellulose 100nm avec et sans carbone

On s'intéresse maintenant à deux membranes en cellulose, donc de même composition que la membrane précédente, présentant des pores de 100nm (contre 25nm pour la membrane précédente). La première membrane est uniquement en cellulose tandis que l'on est venu déposer du graphène sur la deuxième membrane. On étudie les dépendances des mêmes grandeurs (débit maximal, débit moyen, facteur de rectification, rapport des puissances) en fonction des mêmes paramètres f , V et c .

a Allure du signal

Résultats On s'intéresse à l'allure du signal reçu en fonction du temps pour la membrane avec et sans dépôt de graphène.

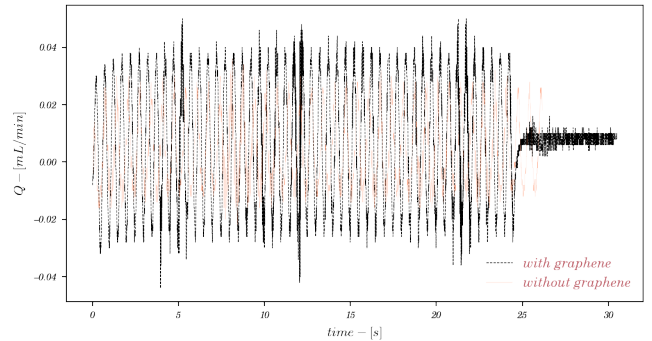


FIGURE 17 – Q en fonction de t avec et sans graphène

Interprétation L'allure du signal obtenu avec graphène est moins symétrique que celle du signal sans graphène, qui ressemble au signal obtenu pour la membrane précédente. Ceci est dû à l'effet diode que

l'on créé avec le dépôt de carbone, le comportement n'est plus symétrique selon de passage le l'eau.

b Dépendance en fréquence

Résultats :

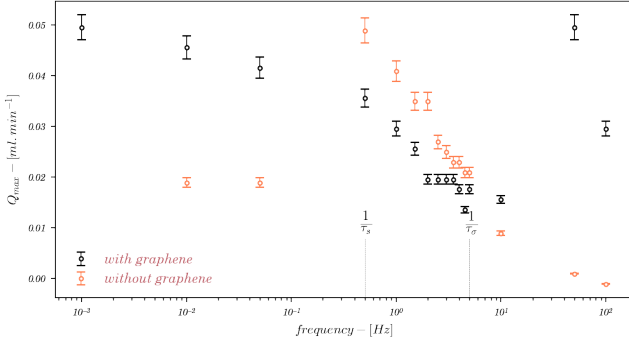


FIGURE 18 – Débit maximal Q_{\max} en fonction de f

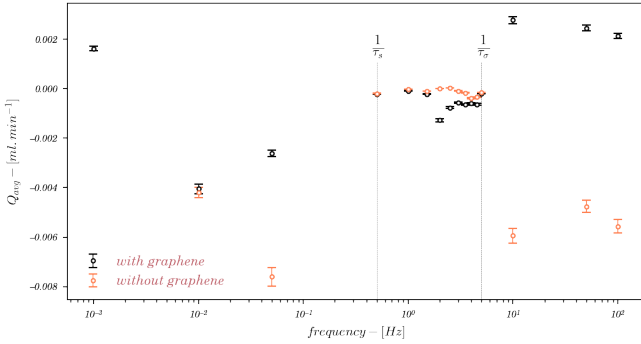


FIGURE 19 – Débit moyen Q_{avg} en fonction de f

Interprétation : Concernant la dépendance en fréquence pour la membrane avec des pores de 100nm, que ce soit avec ou sans graphène on observe sur la plage [0Hz-10Hz], le même comportement que la membrane avec des pores de 25nm pour Q_{\max} , en effet la diminution du Q_{\max} est principalement due à la diminution du temps d'exposition au champs électrique A haute et à très basse fréquence, on observe cependant une large différence entre la membrane sans et avec le dépôt de graphène, pour Q_{avg} et Q_{\max} . En effet le débit est beaucoup plus important avec le dépôt de graphène sur ces plages de fréquences. En conclusion, dans tous les cas, sachant que le graphène entraîne une perte de charge, il existe un autre effet qui permet de compenser ce dernier voir de le supplanter.

Pour expliquer cette augmentation du débit, on peut se reposer sur une asymétrie du pore engendrée par le dépôt du graphène, on se retrouve ensuite dans le cas d'une diode géométrique étudiée précédemment. Cependant, pour des fréquences de l'ordre du Hz, la membrane sans dépôt de graphène connaît aussi

une augmentation de son débit. Nous essayons d'expliquer cela par une étude des différents temps caractéristiques du système. Tout d'abord notons que, sachant que le pore est symétrique, cette augmentation du débit est forcément liée à une dépendance de la densité de charge du pore en fonction de la position dans ce dernier (diode en charge). De plus, nous avons vu précédemment que le système pouvait être caractérisé par un temps de réponse $\tau_s = RC$ tq $\frac{1}{\tau_s} \approx 1\text{Hz}$ et qu'une diode géométrique avait une réponse en débit indépendante de la fréquence.

Ainsi en introduisant un temps caractéristique de variation de la densité de charge τ_σ tel que $\frac{1}{\tau_\sigma} \approx 10\text{Hz}$, qui correspond à un temps nécessaire à la mise en place d'un gradient du nombre de Du , Il apparaît que la mise en place d'une diode de type charge ne peut se faire qu'entre ces deux temps. On aurait ainsi pour la membrane en cellulose dépourvue de graphène, la mise en place d'un effet diode entre 1 et 10Hz, au delà cet effet ne pouvant se faire, l'effet diode s'estompe, alors que la membrane avec graphène elle constitue une diode géométrique, et présente donc un gradient permanent du nombre de Du . Il faudrait pour valider cette hypothèse étudier plus précisément la densité de charge du pore.

c Dépendance en tension

Résultats On représente ici Q_{\max} et Q_{avg} en fonction de V .

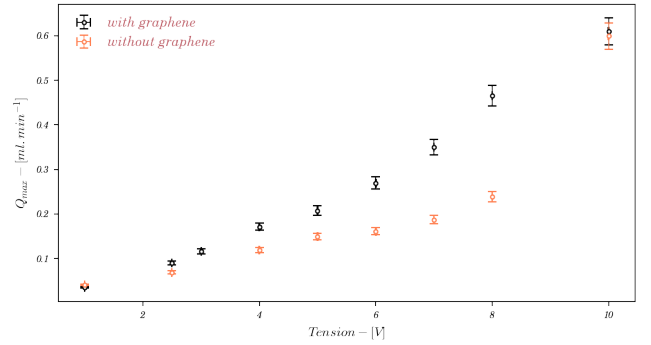


FIGURE 20 – Débit maximal Q_{\max} en fonction de V

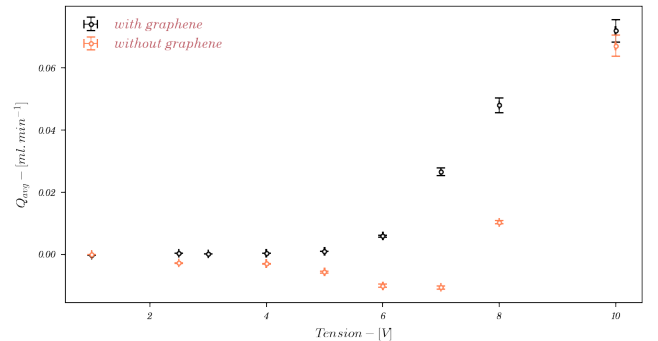


FIGURE 21 – Débit moyen Q_{avg} en fonction de V

Interprétation Concernant la dépendance en tension du débit, l'interprétation reste la même que pour la membrane de 25nm. On remarquera cependant une augmentation de la tension seuil évoquée à la partie précédente, et un débit toujours plus important pour la membrane avec un dépôt de graphène, ceci s'expliquant encore par la diode géométrique qu'implique la mise en place de ce dépôt (Gradient du nombre de Du).

d Puissance injectée et puissance du liquide

Résultats :

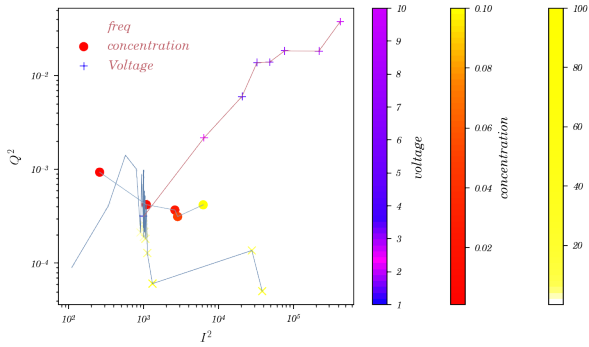


FIGURE 22 – Q^2 en fonction de I^2 pour la membrane de cellulose (pores de 100nm)

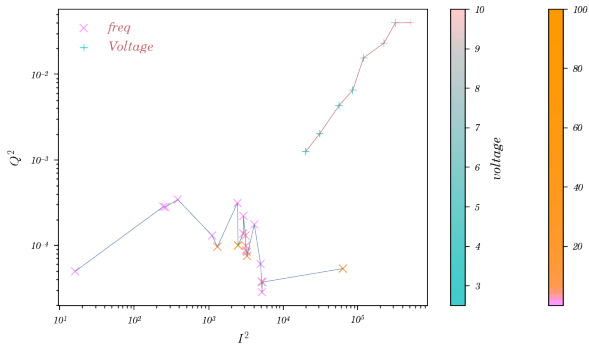


FIGURE 23 – Q^2 en fonction de I^2 pour la membrane de cellulose (pores de 100nm) et graphène

Interprétation Les résultats ressemblent à ceux de la membrane précédente. Pour la membrane sur laquelle du graphène a été déposé, on retrouve des fréquences pour lesquelles Q^2 est faible alors que I^2 est assez élevée, ces fréquences correspondent aux fréquences pour lesquelles Q_{\max} est faible, c'est à dire les $f \in [\frac{1}{\tau_s}, \frac{1}{\tau_\sigma}]$. Le comportement en tension lui reste inchangé, qu'il y ait ou non du graphène déposé.

e Puissance et rectification

Résultats :

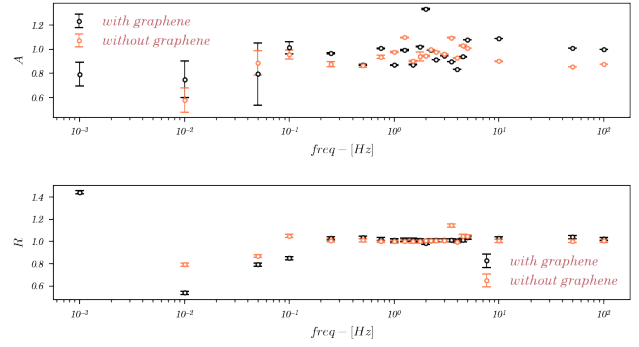


FIGURE 24 – Rectification et Rapport des Aires R et A en fonction de la fréquence f

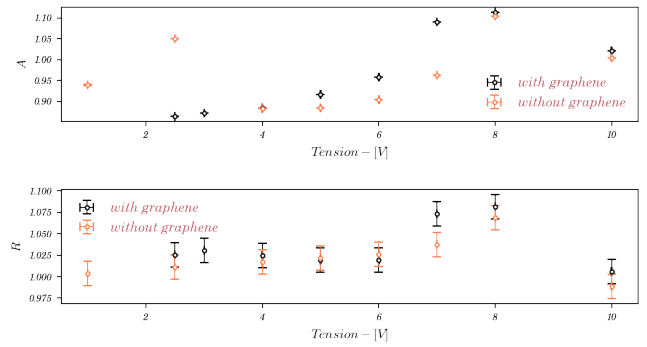


FIGURE 25 – Rectification et Rapport des Aires R et A en fonction de la tension V

Interprétation Ici il apparaît que la puissance dissipée est aussi plus grande dans la plage de fréquence $[\frac{1}{\tau_s}, \frac{1}{\tau_\sigma}]$ (au moins en écart-type), ce qui impliquerait que le déplacement des ions dû à l'effet diode en charge a une plus grande importance que celui lié à l'effet diode géométrique. Concernant la dépendance en tension les résultats mettent en évidence une rectification assez faible, avec une augmentation de cette dernière sur une certaine plage de tension. L'interprétation de ces résultats reste aussi complexe que pour la première partie, cependant nous remarquerons que l'asymétrie observée sur ces graphes est beaucoup plus importantes pour une petite taille de pore que grands pores (100nm), une hypothèse plausible est que cette dépendance en tension ne relève pas d'une asymétrie impliquant le nombre de Dukheim, mais plutôt dans la longueur de Debye [2], qui elle joue un rôle important à petite échelle.

f Bilan

Bilan Tandis que la membrane en cellulose $100nm$ se comporte de manière analogue à la membrane $25nm$, le dépôt de graphène brise la symétrie du système et modifie sa réponse. En présence de dépôt, un effet diode de type charge vient alors s'ajouter à l'effet diode géométrique du matériau, les phénomènes se produisant sur des échelles de temps correspondant à la réponse électrique du système d'électrodes et au déplacement microscopique des charges.

3 Membranes en polycarbonate, avec et sans dépôt de MoS_2

Dans cette section, on étudie deux nouvelles membranes composées de polycarbonate. La première est vierge tandis que l'on dépose du disulfure de molybdène MoS_2 sur la deuxième.

a Dépendance en fréquence

Résultats :

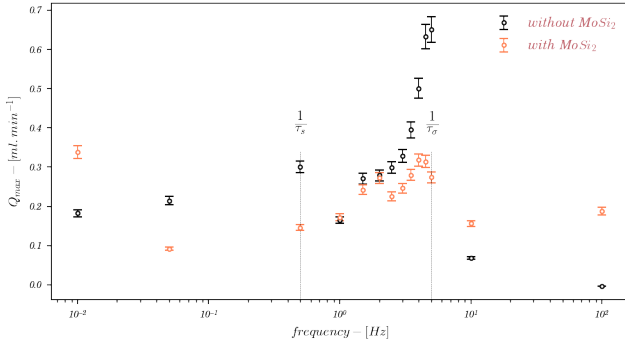


FIGURE 26 – Q_{\max} en fonction de f pour la membrane de polycarbonate avec et sans MoS_2

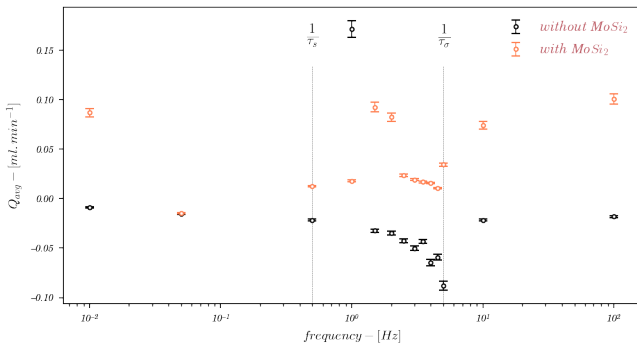


FIGURE 27 – Q_{avg} en fonction de f pour la membrane de polycarbonate avec et sans MoS_2

Interprétation Tout comme pour la membrane précédente, on retrouve ici trois plages de fréquences sur lesquelles les comportements de Q_{\max} et Q_{avg} sont différents. Ainsi, à très petites fréquences, c'est

à dire pour $f < \frac{1}{\tau_s} \approx 1Hz$, l'impédance du système d'électrodes est élevée et donc pour une différence de potentiel fixée, l'intensité électrique est plus faible, ce qui explique le faible débit observé à ces fréquences. Pour des fréquences comprises entre $\frac{1}{\tau_s} \approx 1Hz$ et $\frac{1}{\tau_\sigma} \approx 10Hz$, le débit moyen avec MoS_2 dépasse le débit moyen sans MoS_2 : on retrouve l'effet diode provenant de la formation d'un gradient de charge surfacique sur la paroi du pore et d'une diode de type charge. Q_{\max} avec MoS_2 reste lui inférieur à Q_{\max} sans MoS_2 car le dépôt de MoS_2 crée un obstacle supplémentaire au liquide et limite donc le débit maximal. Enfin, tout comme pour la membrane en cellulose/graphène, on retrouve un comportement de diode géométrique pour $f > \frac{1}{\tau_\sigma}$ car le gradient de charge surfacique n'étant pas dû à la géométrie du pore il n'a pas le temps de s'installer.

b Dépendance en tension

Résultats :

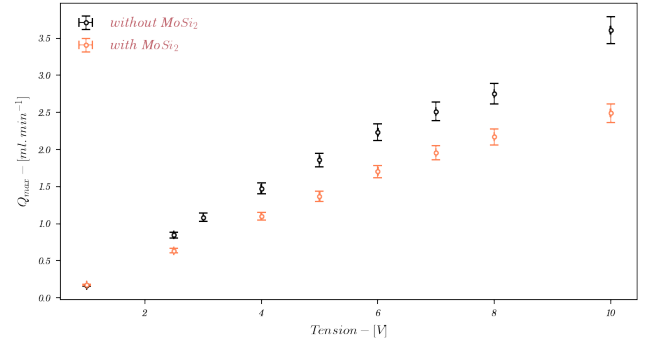


FIGURE 28 – Q_{\max} en fonction de V pour la membrane de polycarbonate avec et sans MoS_2

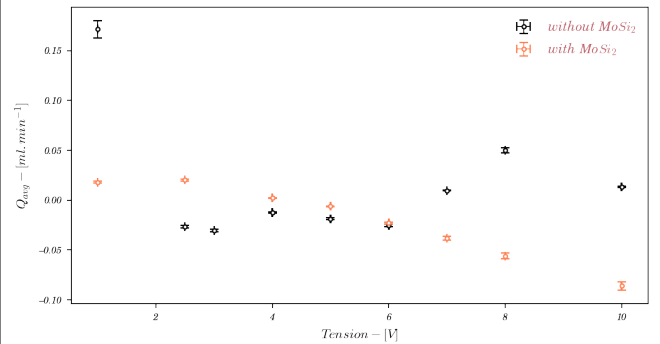


FIGURE 29 – Q_{avg} en fonction de V pour la membrane de polycarbonate avec et sans MoS_2

Interprétation Contrairement aux membranes étudiées précédemment, on ne retrouve pas de tension seuil dans le comportement de Q_{\max} et Q_{avg} . On retrouve cependant une linéarité dans la valeur de Q_{\max} en fonction de V , avec et sans dépôt de MoS_2 .

On retrouve aussi cette linéarité dans le comportement de Q_{avg} sans dépôt mais on la perd lorsque l'on rajoute le dépôt. On notera cependant que l'effet diode crée par le dépôt vient contrer l'effet diode "naturel" des pores de polycarbonate.

c Puissance injectée et puissance du liquide

Résultats :

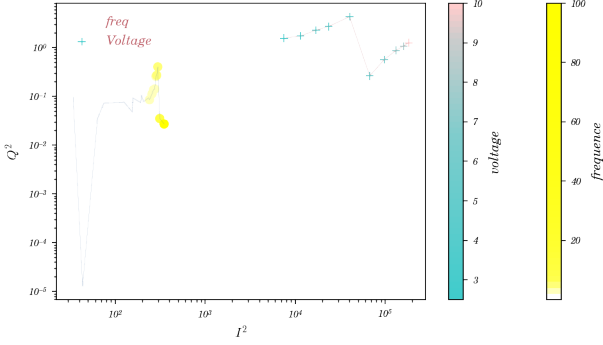


FIGURE 30 – Q^2 en fonction de I^2 pour la membrane de polycarbonate sans dépôt de MoS_2

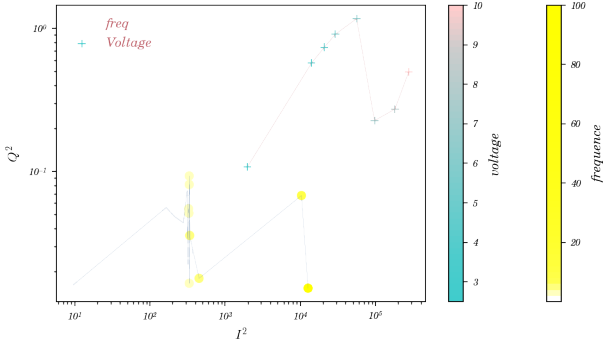


FIGURE 31 – Q^2 en fonction de I^2 pour la membrane de polycarbonate avec dépôt de MoS_2

Interprétation : En ce qui concerne les puissances électrique (I^2) et donnée au liquide en mouvement (Q^2), les comportements sont analogues aux résultats précédents, qu'il y ait ou non un dépôt de MoS_2 . On notera cependant que le débit au carré reste supérieur lorsqu'il n'y a pas de dépôt, ce qui provient sans doute du fait que MoS_2 freine les molécules de solvant.

d Puissance et rectification

Résultats :

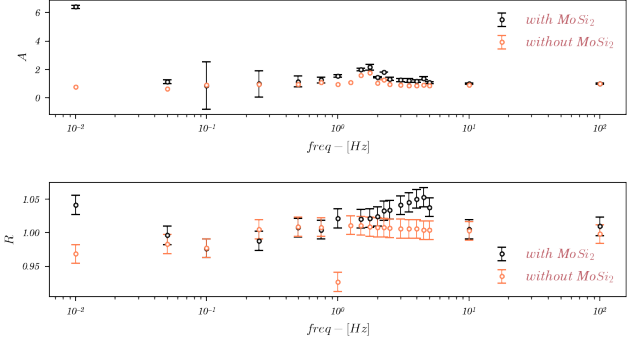


FIGURE 32 – Rectification et rapport de l'aire positive sur l'aire négative en fonction de f

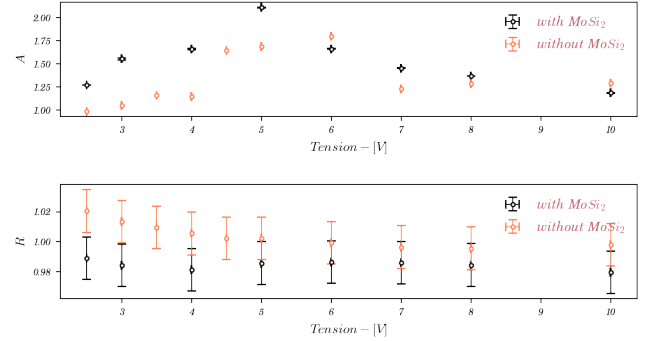


FIGURE 33 – Rectification et rapport de l'aire positive sur l'aire négative en fonction de V

Interprétation En ce qui concerne la dépendance en fréquence, on observe que la présence de MoS_2 augmente un peu le facteur de rectification du système, ce qui met en exergue l'effet diode induit par la non-symétrie du système. Les résultats sont analogues aux membranes étudiées précédemment, on retrouve nos trois plages de fréquences définies par $\frac{1}{\tau_s}$ et $\frac{1}{\tau_\sigma}$. Pour la dépendance en tension, là aussi on remarque que le dépôt de MoS_2 assymétrise le système puisque le facteur de rectification est abaissé en dessous de 1. Enfin, notons que la tension V ne semble pas avoir une influence significative sur la valeur de la rectification.

e Bilan

Bilan Là encore, la présence d'un dépôt de MoS_2 assymétrise le système, ce qui donne naissance à un effet diode dont le comportement semble être gouverné par les deux temps caractéristiques relevés lors de l'étude de la membrane précédente.

IV Mise en application : filtrage d'une eau

On cherche enfin à mettre en pratique ce que l'on vient de mettre en évidence. On réalise une solution salée de rhodamine à $10^{-5} \text{ mol.L}^{-1}$ qui a l'avantage d'être de couleur orange. On remplit la partie du système à droite de la membrane avec cette solution, tandis que l'autre partie du système contient de l'eau distillée.

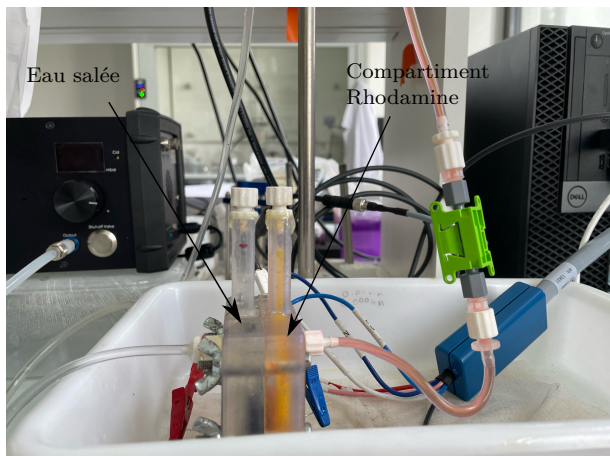


FIGURE 34 – Photographie du montage expérimental de filtration d'une eau

On excite ensuite le système à $f = 1 \text{ Hz}$ et $V = 1 \text{ V}$. On observe une filtration très lente, on choisit ensuite de modifier f et V pour obtenir un débit de filtration plus élevé. On choisit finalement $f = 2 \text{ Hz}$ et $V = 5 \text{ V}$. Ces valeurs étant fixées, on observe que le volume de solution de rhodamine diminue alors que le volume d'eau distillée croît : la solution de rhodamine a été filtrée. On finit par filtrer 2 mL de solution de rhodamine en 30 minutes, ce qui suffit à confirmer le bon fonctionnement de notre système de filtration.

Bilan Nous sommes parvenus à filtrer une solution aqueuse de rhodamine et de chlorure de sodium. Bien que le débit soit modeste, ce résultat est prometteur et ouvre la voie à de belles applications.

V Conclusion

Nous avons pu au long de ce projet expérimental nous familiariser avec l'électroosmose, une technique qui nous était auparavant inconnue. Nous avons ainsi caractérisé le comportement de plusieurs membranes dans le but de chercher à filtrer de l'eau le plus efficacement possible tout en dépensant le moins d'énergie. Les notions de micro-fluidique impliquées dans cette filtration sont très intéressantes, autant sur le plan théorique et sur les mécanismes microscopiques sous-jacent que sur les nombreuses et riches applications

qu'elles impliquent. Enfin, nous avons pu mettre en place des protocoles expérimentaux et manipuler en autonomie, ce qui nous a fait mettre un pied dans le monde de la recherche expérimentale.

VI Annexe

a Détermination du facteur des aires A

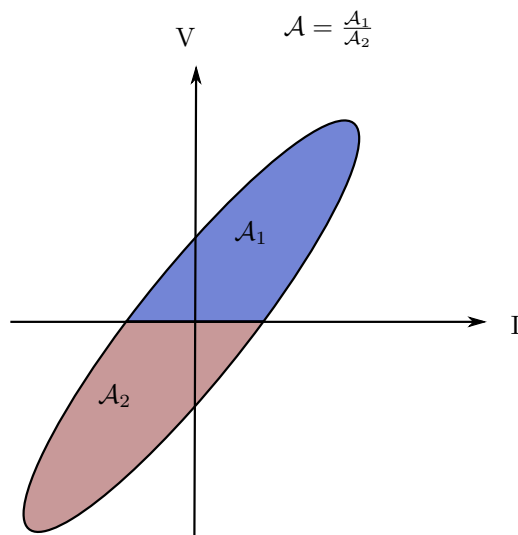


FIGURE 35 – Détermination du facteur des Aires A

b Caractérisation des différents types de diodes

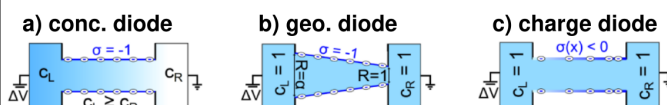


FIGURE 36 – Différents type de diode d'après [2]

Références

- [1] S. MARBACH. "Osmosis, from molecular insights to large-scale applications". In : *Chem. Soc. Rev.* 48 (2019), p. 34. ISSN : 0306-0012. DOI : 10.1039/C8CS00420J.
- [2] C. RECTIFICATION. "Dynamic Selectivity in Ionic Transport and Current Rectification". In : *J. Phys. Chem. B* 123.1 (2019), p. 1171-1185. ISSN : 1520-6106. DOI : 10.1021/acs.jpcc.8b11202. URL : <https://pubs.acs.org/sharingguidelines>.