



Épuration de l'eau par le Vortex

Expérience de désalinisation de l'eau

Objectif sciences - Cyril Gallant
Été 2007

Présentation du projet vortex :

Le projet a pour objectif de clarifier l'eau par création d'un vortex. Qu'est ce qu'un vortex ? Un vortex c'est un écoulement tourbillonnaire où les particules fluides tournent autour d'un axe.

La première étape est donc de mieux comprendre les tourbillons naturels et de s'en inspirer pour concevoir un système au moyen de tout un attirail de tuyaux, vannes, tubes, etc... Cette étape a déjà été franchie par les camps de l'été 2006 avec la conception d'un Vortex dans un tube transparent de plus de 2,5 mètres !

Il reste également à se pencher sur la conception de nouveaux systèmes. Pourquoi pas un Vortex à plusieurs tuyaux ? Enfin, il faudra aussi développer toute une série d'outils et instruments de mesure afin de comparer l'eau d'entrée et celle de sortie.

Le projet vortex se découpe en 3 paliers de recherche :

- 1er palier : Floculation de la matière en suspension au cœur du vortex du fait de la concentration activée par le mouvement du tourbillon.*
- 2ème palier : Refroidissement de l'eau par sa mise sous pression.*
- 3ème palier : le « vortex dessalant ».*

Cette semaine de recherche a servi à étudier la 3^{ème} étape du projet vortex, qui a consisté à vérifier l'action du vortex sur les matières dissoutes tel le sel ($\text{NaCl} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$). Pour ça nous avons mis en place une expérience qui va vérifier l'action du vortex sur une eau plus ou moins salée.

Cependant nous ne réduisons pas notre étude à l'eau salée, mais on généralise aux autres éléments dissout, avant de pouvoir faire d'autres expériences. Par contre une des parties de ces semaines a été axée sur l'élaboration d'une machine utilisable en laboratoire.

Dans ce document seront présentées les données connues du vortex, avec un plan surtout et ses dimensions, avec une présentation de la machine de laboratoire. Ensuite La présentation des 2 expériences faites durant la période de recherche avec les résultats correspondants. Et pour finir une conclusion, avec un descriptif de la suite du projet pouvant aider les futurs chercheurs sur le sujet.

Protocole de l'expérience 1

Préparation de la solution à épurer

Il nous faut un volume d'eau d'environ 100L dans le bassin. Pour cela il faut utiliser le débit pour connaître le volume approximatif.

$$Q_v = V/t \quad (1)$$

$$t = v/Q_v \quad (2)$$

Faire couler l'eau dans une éprouvette graduée, durant un temps donnée. Grâce à la formule (1), on obtient le débit. L'opération doit être répétée plusieurs fois afin d'obtenir une moyenne.

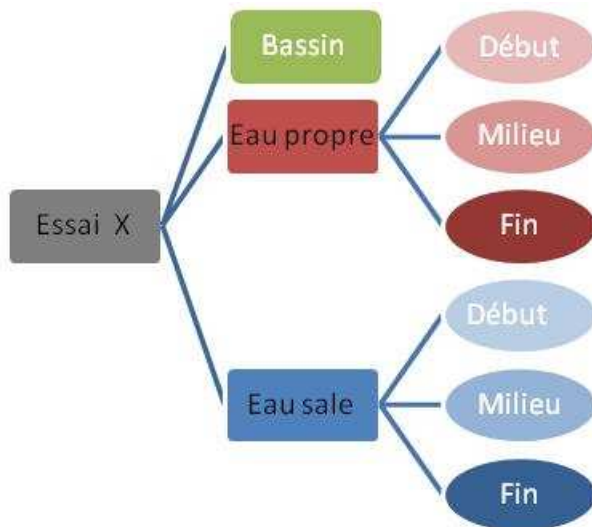
Grâce à (2), on obtient le temps nécessaire pour avoir un volume donné en fonction du temps.

Pour la dissolution du sel il est plus intéressant de le dissoudre dans un petit volume d'eau avant et de faire une dilution ensuite dans la piscine.

Ici nous voulions une concentration de environ 10g/L donc nous avons introduit, pour 1000L, 10kg de sel.

Expérience

On lance le vortex et l'on fait des prélèvements suivant le diagramme ci-dessous.



Chaque bout de branche correspond à un prélèvement.

Il est mieux d'effectuer plusieurs essais, ici nous en avons mis en place 3. Pour pouvoir faire ces 3 essais il nous a fallu environ 1000L d'eau dans lesquels on était dissout 10kg de sel de salage de route.

Mesures

Nous allons faire un suivi de cette expérience par conductimétrie. Chaque prélèvement sera mesuré 3fois et pour obtenir une moyenne qui sera utilisée dans nos résultats.

Pour obtenir une comparaison en concentration, et pas juste une constatation de changement de conductivité, nous allons mettre en place aussi un protocole d'étalonnage (voir page 5).

Protocole et résultat de l'étalonnage

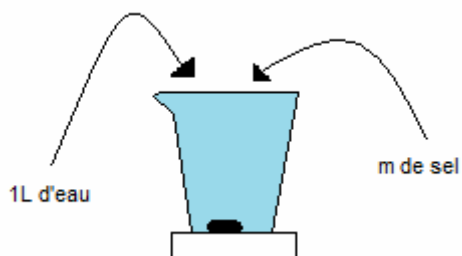
Notre étalonnage consiste à donner une correspondance entre notre mesure de conductivité et la concentration massique plus ou moins réel en sel.

La conductivité traduit la minéralisation totale de l'eau (présence d'ion). Sa valeur varie en fonction de la température.

La conductivité sera mesurée en milli Siemens par cm (mS/cm).

Nous allons préparer 5 solutions de concentrations différentes.

Dans un premier cas, nous travaillons avec le sel de dessalage donc comme il n'est pas pur il n'est pas possible de faire un rapport concentration massique concentration molaire.

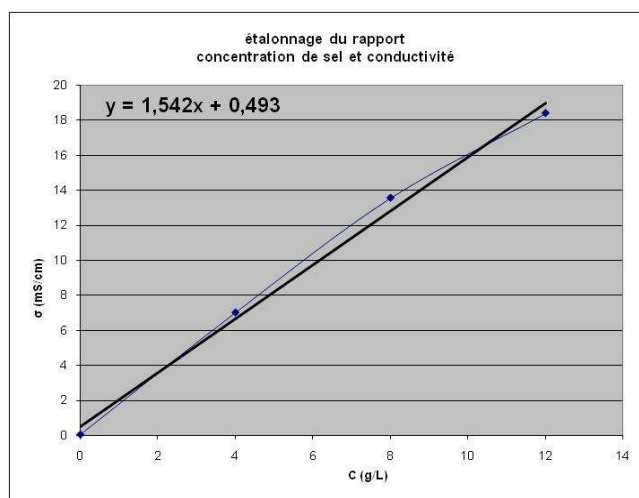


On pèse notre masse m, que l'on va diluer dans un volume de 1L.

Masse (g)	Concentration (g/L)	ΔC	σ_1	σ_2	σ_3	σ (mS/cm)
0,00	0,00		0,03	0,02	0,02	0,02
4,00	4,00	0,20	7,00	7,00	7,01	7,00
8,00	8,00	0,20	13,55	13,56	13,57	13,56
12,00	12,00	0,30	18,38	18,40	18,42	18,40
14	14	0,3	EEE	EEE	EEE	EEE

Lors de cet étalonnage on a remarqué que l'appareil de mesure saturé pour une solution de 14g/L. Nous avons, grâce à ça pu choisir la concentration de notre bassin pour le vortex. Avec ces résultats, nous pouvons tracer la courbe $\sigma=f(C)$.

$$\sigma = 1.542C + 0.493$$

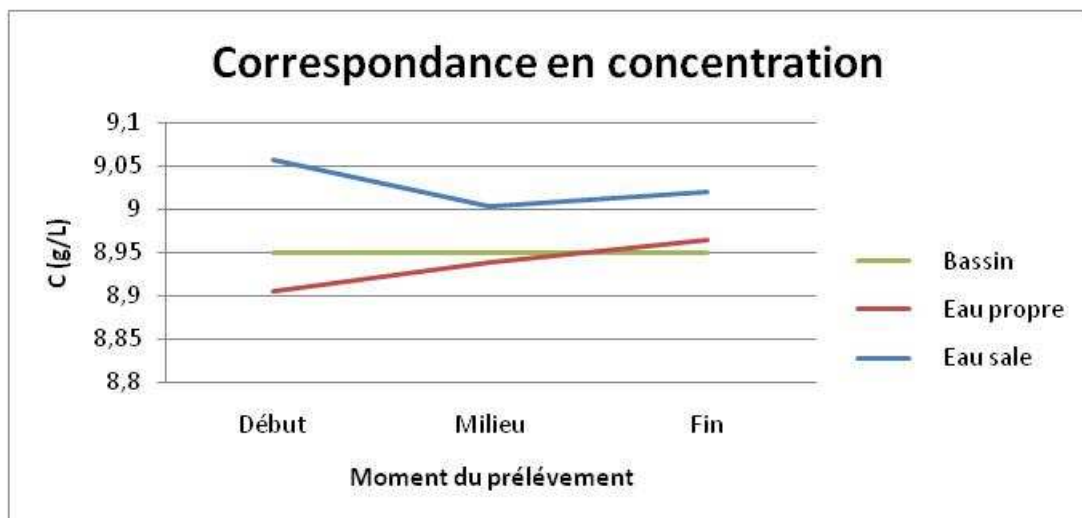
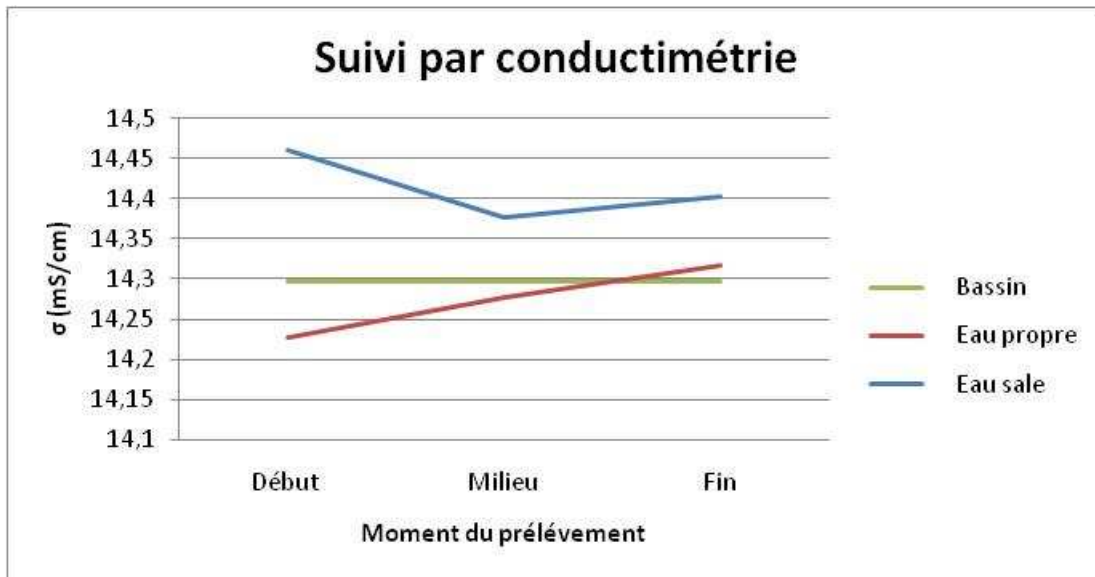


Un 2^{ème} étalonnage peut être fait à partir de sel de cuisine avec un pourcentage massique connu donc une relation entre concentration massique et molaire.

Résultats de l'expérience 1

Essai 1

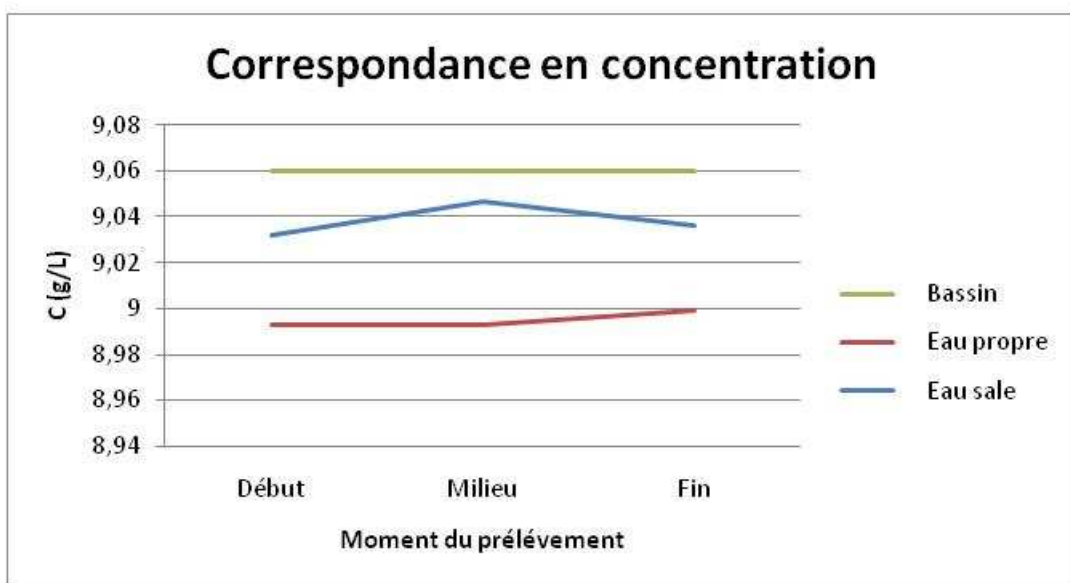
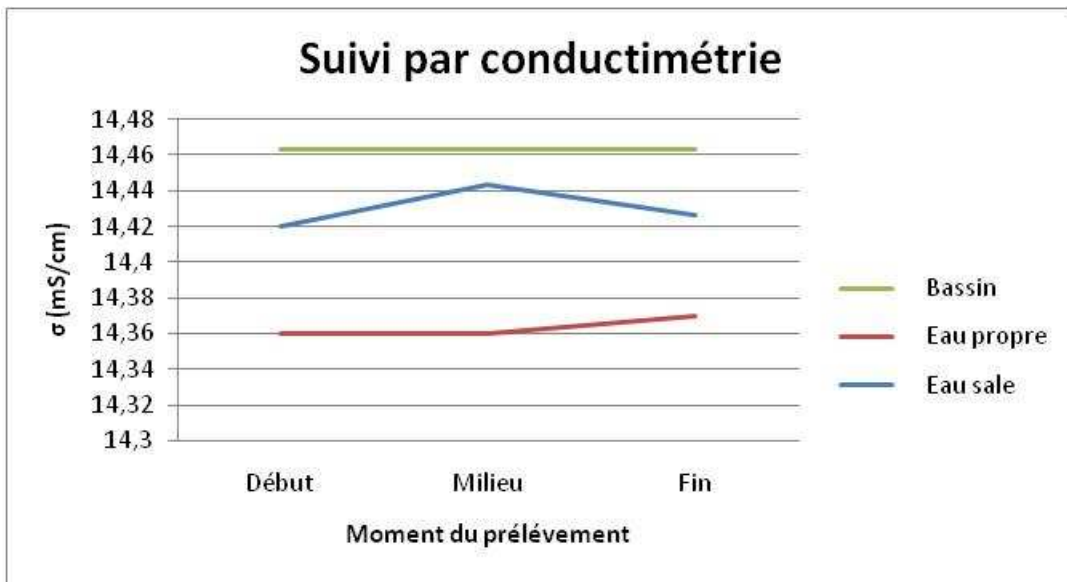
Essai 1	σ_1	σ_2	σ_3	σ_T (mS/cm)	$\Delta\sigma T$	C (g/L)	Δc
Bassin	14,29	14,29	14,31	14,30	0,30	8,95	0,20
Eau propre	Début	14,20	14,22	14,26	14,23	8,91	0,20
	Milieu	14,25	14,27	14,31	14,28	8,94	0,20
	Fin	14,32	14,32	14,31	14,32	8,96	0,20
Eau sale	Début	14,56	14,37	14,45	14,46	9,06	0,20
	Milieu	14,29	14,38	14,46	14,38	9,00	0,20
	Fin	14,41	14,38	14,42	14,40	9,02	0,20



Nous voyons ici que la concentration en sel est plus importante dans l'eau sale que dans l'eau propre.

Essai 2

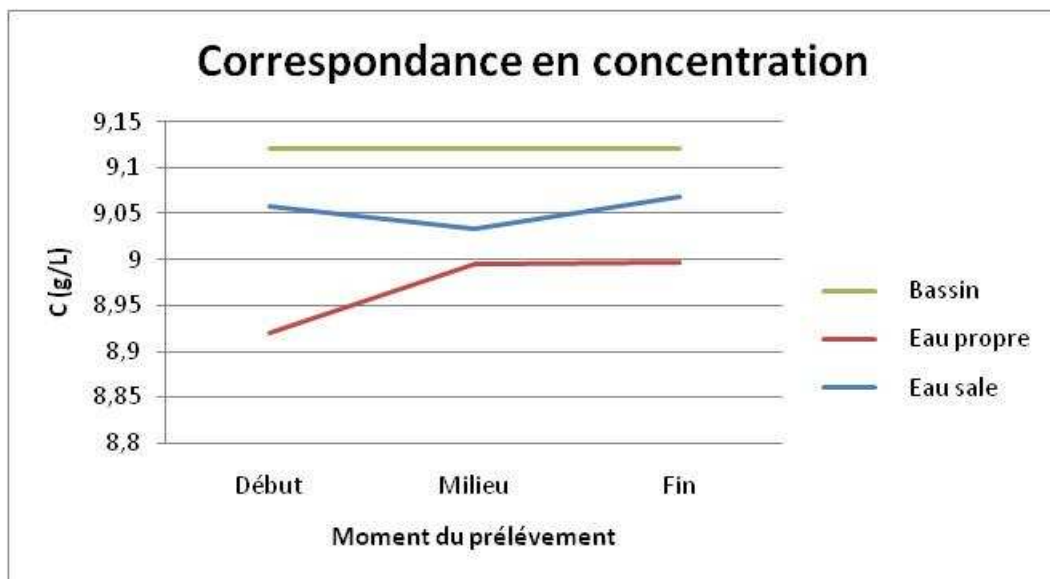
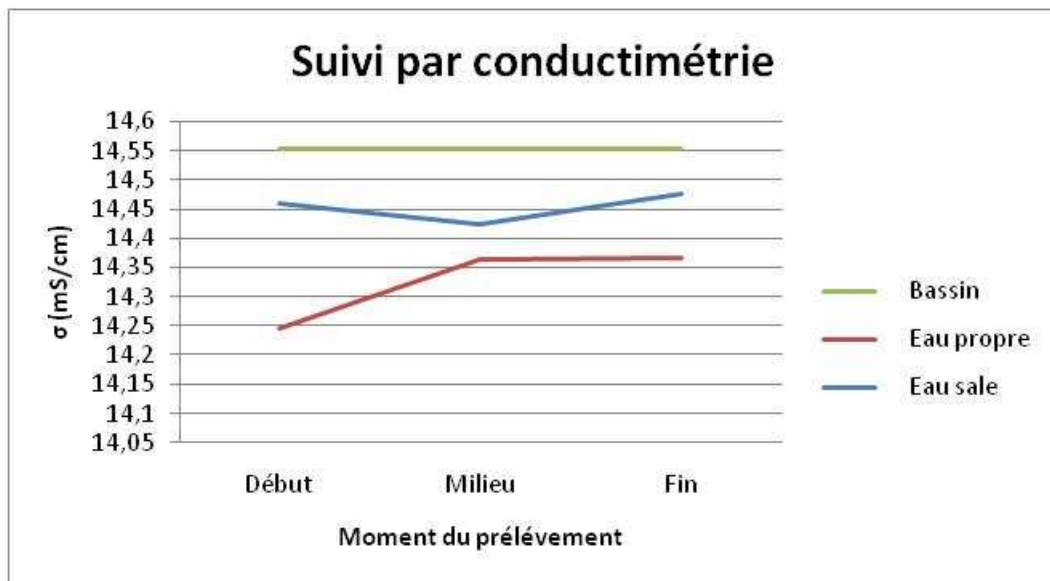
Essai 2	σ_1	σ_2	σ_3	σ_T (mS/cm)	$\Delta\sigma T$	C (g/L)	Δc	
Bassin	14,26	14,48	14,65	14,46	0,30	9,06	0,20	
Eau propre	Début	14,36	14,36	14,36	0,30	8,99	0,20	
	Milieu	14,32	14,29	14,47	14,36	0,30	8,99	0,20
	Fin	14,35	14,34	14,42	14,37	0,30	9,00	0,20
Eau sale	Début	14,32	14,44	14,50	14,42	0,30	9,03	0,20
	Milieu	14,51	14,36	14,46	14,44	0,30	9,05	0,20
	Fin	14,48	14,32	14,48	14,43	0,30	9,04	0,20



La concentration en sel est encore une fois plus grande dans l'eau sale que dans l'eau propre, mais la moyenne des concentrations de l'eau propre et de l'eau sale devrait être égale à la concentration de l'eau du bassin, ce qui n'est pas le cas.

Essai 3

Essai 3		σ_1	σ_2	σ_3	σ_T (mS/cm)	$\Delta\sigma T$	C (g/L)	Δc
Bassin		14,50	14,60	14,56	14,55	0,30	9,12	0,20
Eau propre	Début	14,38	14,00	14,36	14,25	0,30	8,92	0,20
	Milieu	14,32	14,40	14,37	14,36	0,30	9,00	0,20
	Fin	14,38	14,39	14,33	14,37	0,30	9,00	0,20
Eau sale	Début	14,50	14,43	14,45	14,46	0,30	9,06	0,20
	Milieu	14,36	14,46	14,45	14,42	0,30	9,03	0,20
	Fin	14,49	14,46	14,48	14,48	0,30	9,07	0,20



Comme pour l'essai précédent nous obtenons une concentration moyenne eau propre / eau sale inférieur à celle du bassin.

Conclusion de l'expérience

Cette expérience nous donne un résultat que l'on peut supposer positif car dans les 3 essais la concentration en sel dans l'eau propre est toujours inférieure à celle dans l'eau sale.

Cependant la moyenne entre la concentration de l'eau sale et de l'eau propre devrait normalement être égale à la concentration du bassin mais ce n'est pas le cas, on peut donc déjà se demander si on n'a pas une variation de la concentration dès le pompage.

Même si les variations concordent on ne peut pas dire que les résultats sont corrects car les incertitudes sont de 0.3mS/cm alors que les écarts entre les eaux propres et sales sont d'à peine 0.1mS/cm.

Pour vérifier en détail il faudrait changer le protocole d'analyse, au lieu de partir d'une analyse physique (conductivité) utiliser une analyse chimique : dosage des ions chlorure par le nitrate d'argent.

Protocole de l'expérience 2

Préparation de la solution à épurer

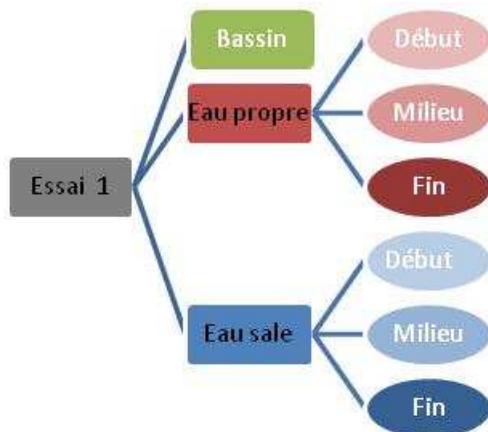
On suit le même protocole que l'expérience 1.

Ici nous voulions une concentration de environ 5g/L donc nous avons introduit 8kg de sel pour 1500L d'eau.

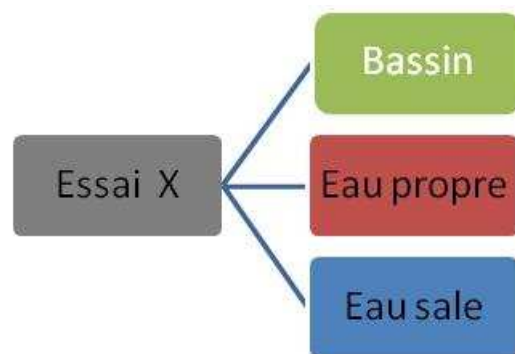
Expérience

Les 1500L permettent d'effectuer 4 essais

On lance le vortex et on fait des prélèvements suivant le diagramme ci-dessous.



Pour l'essai 1 nous reproduisons le protocole de l'expérience 1.



Pour les essais suivants on ne fait qu'un prélèvement quand le vortex paraît stable.

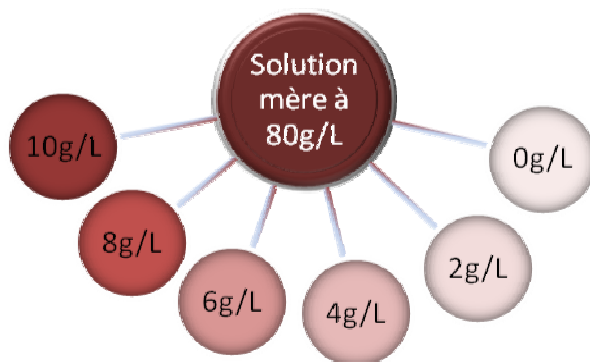
Mesures

Les mesures seront faites par un dosage des chlorures suivant le protocole présenté plus loin. On va y associer une mesure par conductimétrie avec un étalonnage plus précis avec du sel pur.

Protocole et résultat de l'étalonnage

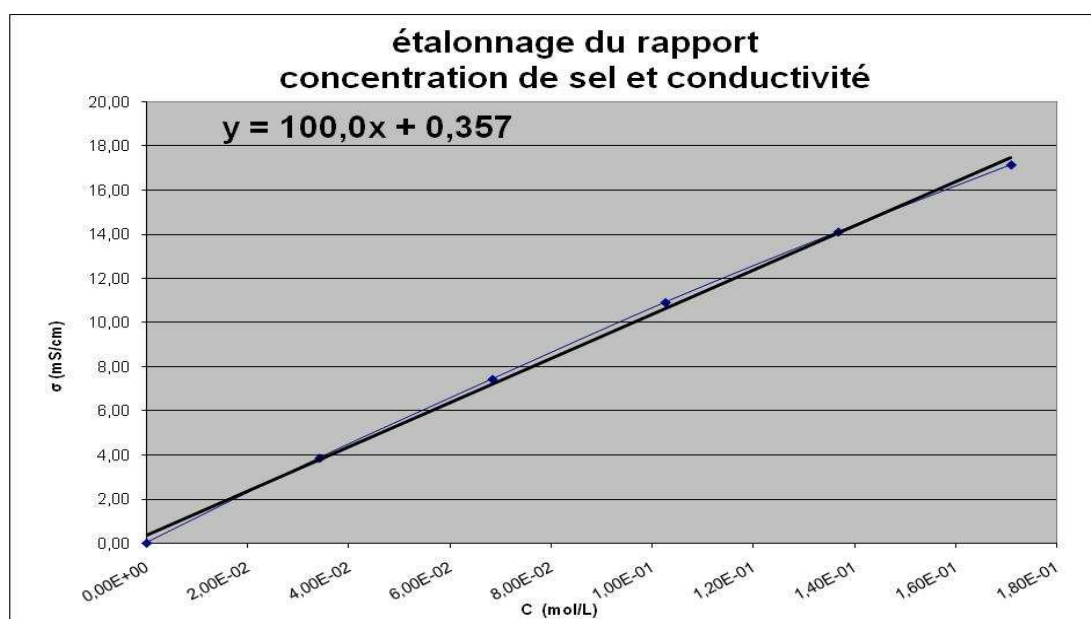
Pour améliorer nos résultats on a mis en place un étalonnage avec du sel pur afin d'avoir des concentrations molaires.

Pour ça nous avons préparé une solution mère à 80g/L que nous avons ensuite diluée pour préparer une gamme de solutions, voir diagramme ci-dessous :



Ensuite on effectue la mesure de conductivité de toutes les solutions et on obtient la relation $\sigma=f(C)$: $\sigma = 100,0C + 0,357$

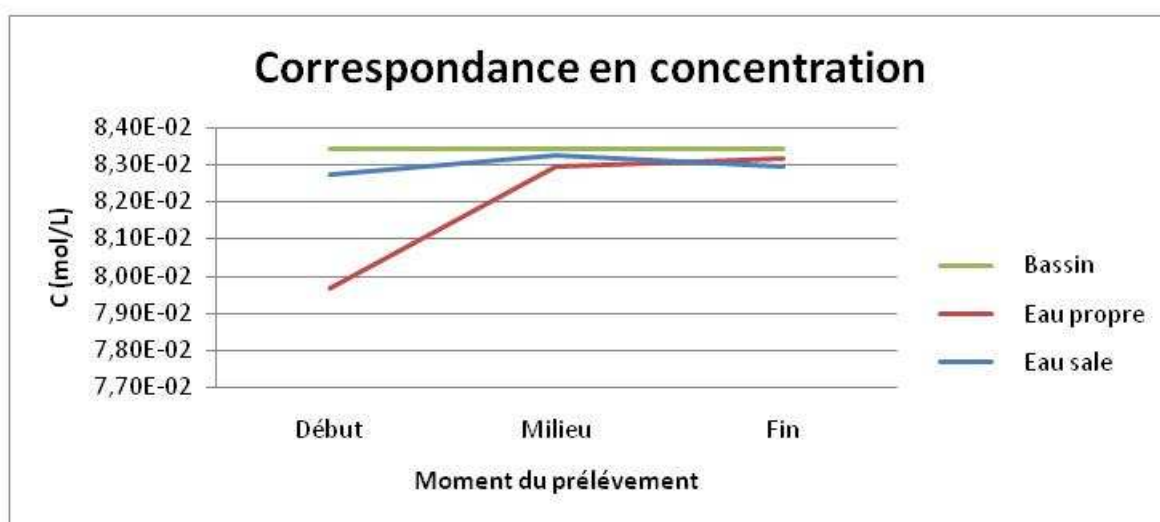
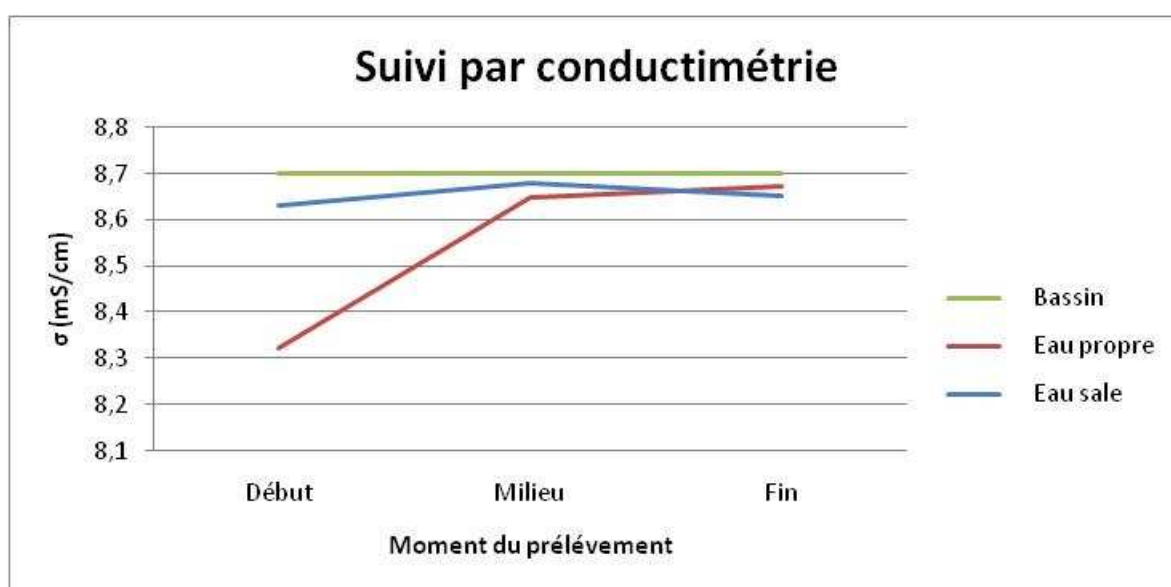
Masse	Concentration (g/L)	ΔC	Concentration (mol/L)	ΔC	σ_1	σ_2	σ_3	σ
0	0	0,00	0,00E+00	0	0,03	0,02	0,02	0,02
2	2	0,2	3,42E-02	0,003	3,96	3,78	3,85	3,86
4	4	0,2	6,84E-02	0,003	7,42	7,41	7,46	7,43
6	6	0,2	1,03E-01	0,003	10,89	10,90	10,91	10,90
8	8	0,2	1,37E-01	0,003	14,09	14,13	14,06	14,09
10	10	0,3	1,71E-01	0,005	17,11	17,13	17,14	17,13



Résultats de l'expérience 2

Essai 1'

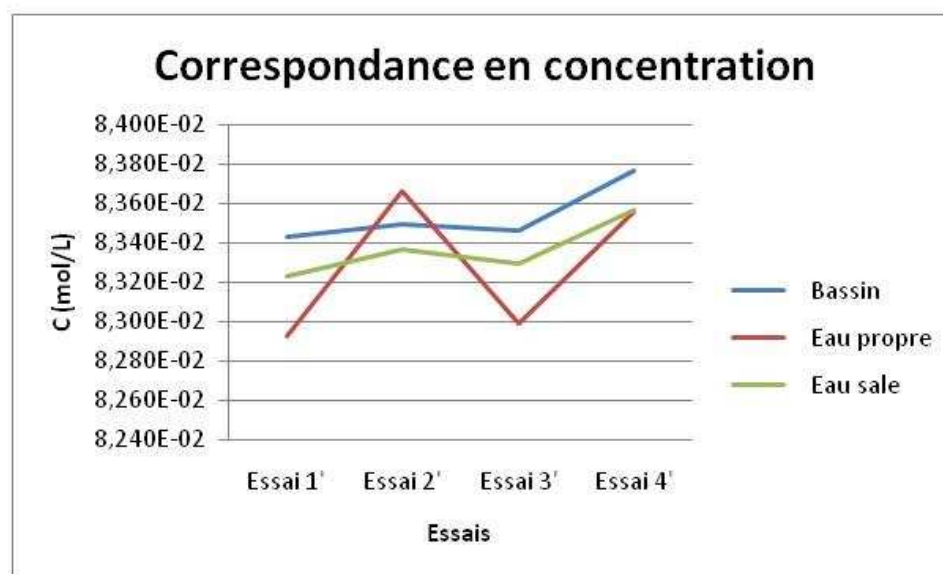
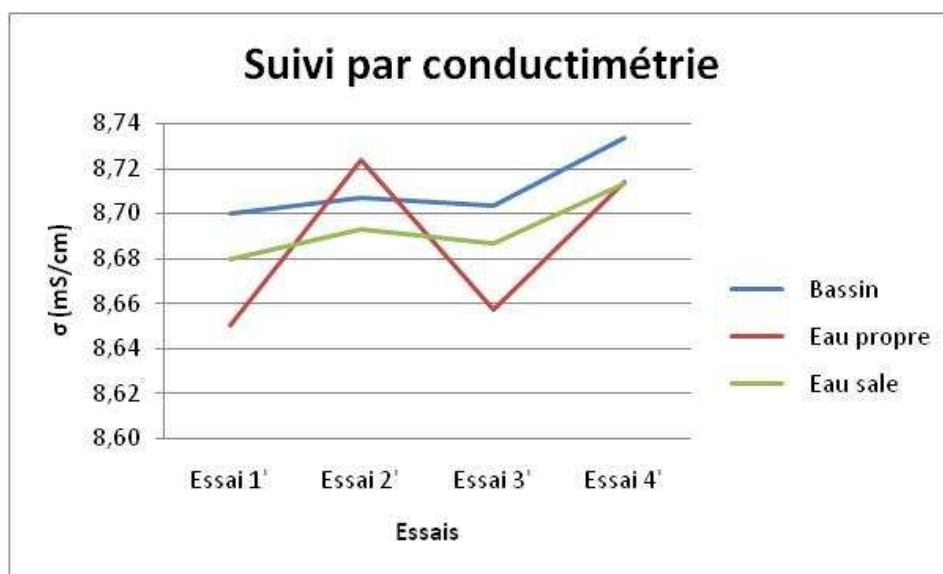
Essai 1'	σ_1	σ_2	σ_3	σ_T (mS/cm)	$\Delta\sigma T$	Concentration (mol/L)
Bassin	8,71	8,69	8,70	8,70	0,20	8,343E-02
Eau propre	Début	8,31	8,34	8,32	8,32	7,966E-02
	Milieu	8,64	8,65	8,66	8,65	8,293E-02
	Fin	8,67	8,67	8,68	8,67	8,316E-02
Eau sale	Début	8,63	8,63	8,63	8,63	8,273E-02
	Milieu	8,68	8,69	8,67	8,68	8,323E-02
	Fin	8,65	8,66	8,64	8,65	8,293E-02



Contrairement à l'expérience 1, sur cet essai on ne voit pas 2 courbes bien distinctes de l'eau propre et sale elle se coupe vers la fin. Cet essai réfute les premières conclusions de l'expérience 1.

Récapitulatif des 4 essais effectués durant l'expérience 2 :

		σ_1	σ_2	σ_3	σ_T (mS/cm)	$\Delta\sigma T$	Concentration (mol/L)
Essai 1'	Bassin	8,71	8,69	8,70	8,70	0,20	8,343E-02
	Eau propre	8,64	8,65	8,66	8,65	0,20	8,293E-02
	Eau sale	8,68	8,69	8,67	8,68	0,20	8,323E-02
Essai 2'	Bassin	8,73	8,71	8,68	8,71	0,20	8,350E-02
	Eau propre	8,71	8,74	8,72	8,72	0,20	8,366E-02
	Eau sale	8,68	8,69	8,71	8,69	0,20	8,336E-02
Essai 3'	Bassin	8,70	8,70	8,71	8,70	0,20	8,346E-02
	Eau propre	8,64	8,67	8,66	8,66	0,20	8,300E-02
	Eau sale	8,68	8,69	8,69	8,69	0,20	8,330E-02
Essai 4'	Bassin	8,74	8,73	8,73	8,73	0,20	8,376E-02
	Eau propre	8,70	8,71	8,73	8,71	0,20	8,356E-02
	Eau sale	8,71	8,71	8,72	8,71	0,20	8,356E-02



Ici on a rassemblé les résultats des 4 prélèvements correspondant aux 4 essais de l'expérience 2, et cette fois les résultats sont négatifs car les courbes se coupent et se recourent.

Dosage des ions Chlorures

- Matériel nécessaire:
 - Une burette graduée
 - Un erlenmeyer
 - Une fiole jaugée de 25mL
 - Une pipette graduée de 10 mL
 - eau distillée
 - solution de chlorure de potassium, KCl à 150 mg.l⁻¹
 - solution de nitrate d'argent, AgNO₃
 - chromate de potassium (K₂CrO₄)

- Protocole expérimental:
 - Préparation de la solution à doser :

Ayant une solution à 5g/L en NaCl, c'est-à-dire 0.086mol/L, et nous avons une solution de titrage à 0.02mol/L, pour obtenir une chute de burette d'environ 10 mL, Il va falloir diluer notre prélèvement par 4 :

- Prélever 6mL à la pipette
- Les introduire dans une fiole de jaugée de 25mL
- Ajuster au trait de jauge.

○ dosage des chlorures dans l'eau à tester:

- A l'aide d'une pipette, introduire dans un erlenmeyer, 10 ml de la solution à doser.
- Ajouter dans l'erien, 10 ml d'eau distillée
- Ajouter 4 gouttes de chromate de potassium dans l'erienmeyer
- Remplir la burette de nitrate d'argent jusqu'au niveau 0.
- Verser lentement la solution de nitrate d'argent dans l'erien qui est agité doucement par des mouvements de rotation
- Fermer immédiatement le robinet de la burette lors du virage de l'indicateur coloré. Le virage doit être maintenu et homogène.
- Noter le volume v1 de nitrate d'argent nécessaire pour atteindre ce virage
- Noter le volume V2 de nitrate d'argent nécessaire pour atteindre le virage
- Récupérer l'excès de nitrate d'argent et rincer la burette à l'eau distillée.

- Exploitation des résultats:
 - Connaissant la concentration de la solution de KCl et le volume V1 de nitrate d'argent nécessaire pour atteindre le virage, calculer la concentration en ions chlorures de l'eau analysée en exploitant le volume V2 mesuré.

Ce protocole n'a pas pu être appliqué du fait que le nitrate d'argent commandé chez eMarketLabo ne soit pas arrivé avant la fin de ma phase recherche...

Conclusion

Les résultats de l'expérience 2 empêchent de conclure positivement et nos résultats de la première expérience nous donnent une lueur d'espoir même si ils ont été contredits.

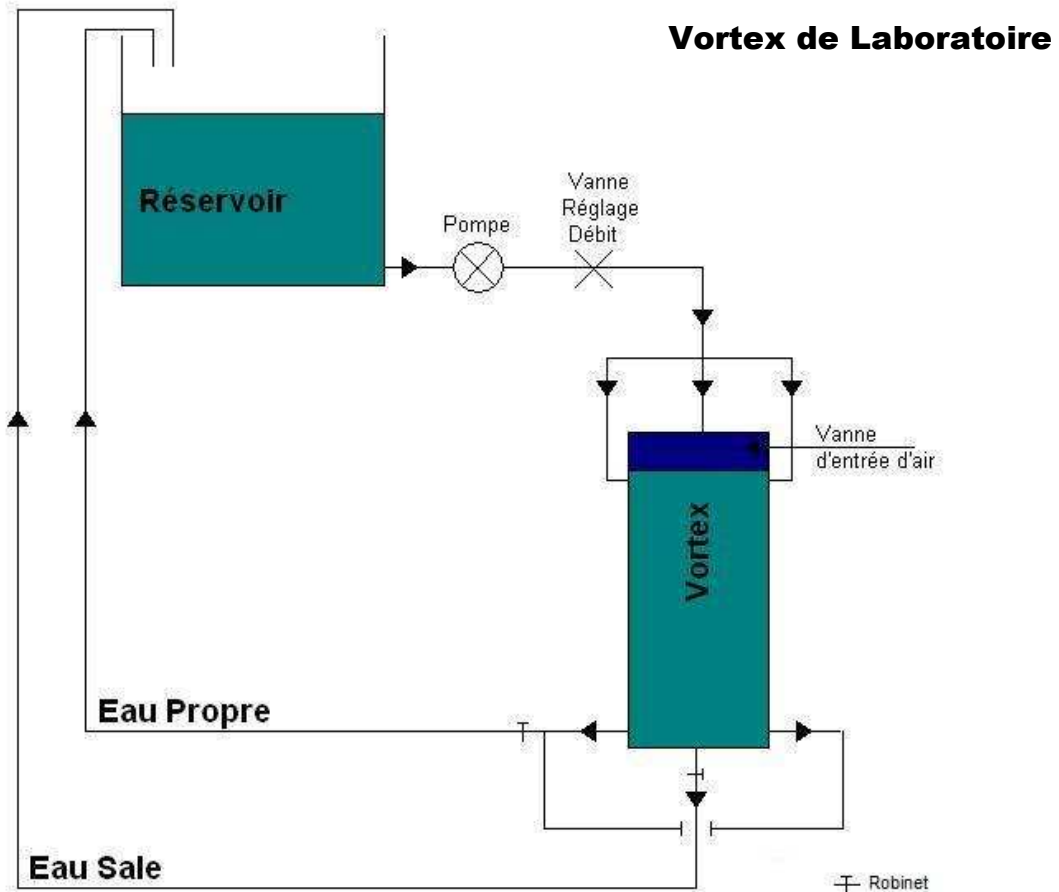
Pour avoir des résultats qui amènent à une conclusion stable, il faudrait répéter encore et encore la procédure afin d'obtenir une moyenne de beaucoup de données qui vont réduire les erreurs et peut-être amener à une conclusion positive. Mais pour effectuer autant de mesure il serait plus judicieux de travailler avec un modèle de laboratoire du vortex afin d'user moins d'eau et de moins risquer de polluer notre environnement. Cette proposition serait étudiée en prolongation.

Autre que répéter la procédure, il serait utile d'effectuer plusieurs analyses différentes, ce qui n'a pu être fait ces semaines par manque de produit, mais d'autres protocoles sauront étudiés dans l'année afin d'offrir un panel de possibilité. Aussi aurait il été possible de travailler avec d'autres matières dissoutes que le sel (NaCl), comme le Sulfate de Cuivre (CuSO_4), ou d'autres sulfates et nitrates. Mais la se pose le problème de l'environnement et de la machine à vortex en extérieur.

Pour conclure globalement nous pouvons dire qu'il reste beaucoup d'essais à effectuer mais surtout il faut améliorer la procédure en elle-même (au niveau de la machine), car maintenant que les protocoles sont mis en place il ne reste plus qu'à les appliquer sur des expériences faisant varier tel ou tel paramètres.

Prolongation

Tout système hydraulique peut se résumer par le dessin de son circuit. Ci-dessous est présenté celui du vortex de laboratoire qui peut être assimilé à celui en extérieur a part quelques modifications technique résultant de problème sur la grande machine.



Ce circuit n'est qu'une présentation globale car il serait intéressant d'avoir un bac eau sale et un bac eau propre.

Mais ou sont les intérêts de cette nouvelle machine à vortex de laboratoire?

Cette machine nous permettra premièrement de protéger l'environnement en travaillant avec une plus petite quantité d'eau donc des produits dissouts en plus petite quantité. Il saura aussi plus facile de récupérer après passage dans le vortex des produits ayant besoin d'être retraiter et non jeté directement aux ordures.

Il sera aussi possible de faire varier des paramètres propres au vortex comme le débit à l'aide d'une pince de Mohr réglable, ou encore, le nombre de sorties et d'entrées et aussi le diamètre de ces entrées et sorties.

Grace à ce dispositif on pourra plus facilement étudier l'ajout de module directement dessus comme un variateur de température ou des aimants intégrés aux sorties ou des électrodes délivrant une courant électrique.

En définitif il nous faut donc une machine entièrement modulable avec les entrées et sorties indépendantes du tuyau central. Le but du projet ne sera plus de faire le plus grand vortex d'Europe mais le plus transformeur du monde.