



Kourou Novembre 2010 - Toulouse Juin 2011.



Mesure de Salinité

Réalisation d'un conductimètre

Frédéric BOUCHAR (TENUM Toulouse)

Version 1.2

Table des matières

1.Introduction.....	3
2.Qu'est-ce que la salinité?.....	3
Définition.....	3
Réalisation d'une eau de mer de concentration connue.....	4
Composition moyenne de l'eau de mer.....	6
Composition moyenne de l'eau des fleuves.....	7
3.Principe de mesure.....	8
Principe du conductimètre.....	8
Méthode d'étalonnage.....	9
Ordre de grandeur de conductivités connues.....	11
4.Réalisation de l'instrument de mesure.....	12
Réalisation des électrodes.....	12
Étude électronique.....	13
Le générateur de courant alternatif.....	13
Choix de la fréquence d'oscillation.....	13
Limiter le courant dans la solution.....	14
Division de la tension.....	14
Lecture du courant qui passe entre les électrodes.....	15
Amplification de la tension, image du courant passant entre les électrodes.....	15
Schéma complet.....	16
Réalisation électronique.....	17
Les composants.....	17
Schéma électrique complet.....	18
Mise au point.....	19
Les réglages avec l'oscilloscope.....	19
Conductivité dans l'océan.....	19
Conductivité dans un fleuve.....	20
Est-ce que mon capteur fonctionne ?.....	21
Intégration du capteur.....	22
Intégration dans la ligne de mesure.....	23
Étalonnage.....	24
5.Références.....	24

Vers une mesure de salinité

Réalisation d'un conductimètre



1.Introduction

Ce document a pour objectif d'initier une nouvelle expérience embarquée à bord d'une bouée équipée d'une carte Mango. Cette première version est basique, non exhaustive et sera enrichie des retours, des approfondissements et des vécus de chacun.

Cette expérience est réalisable par des jeunes de niveau collège ou lycée.

Il est important de me signaler toute erreur ou ambiguïté présente dans ce document. Vous trouverez mes coordonnées en fin de document.

Merci de votre aide.

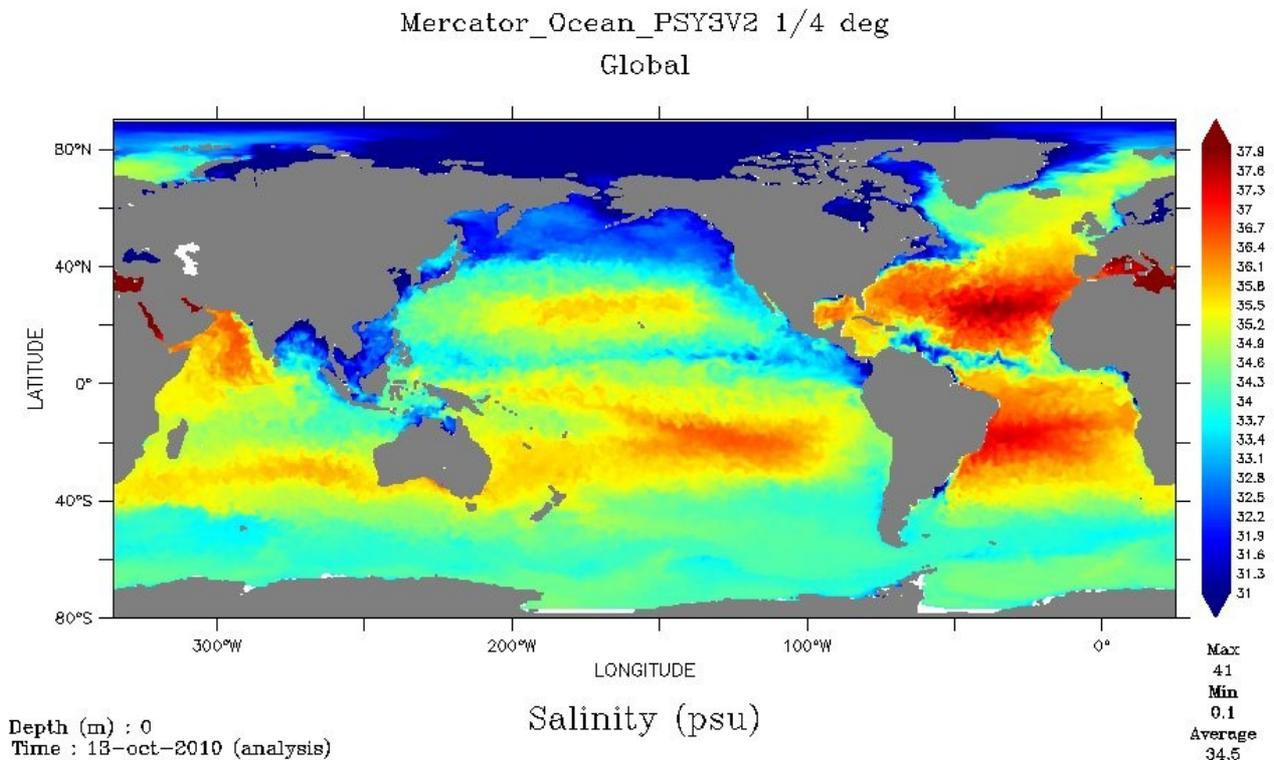
2.Qu'est-ce que la salinité?

Définition

La salinité est la quantité de sels secs dissous dans l'eau.

Elle est donnée en partie par milliers notée aussi ‰ ou *psu* (*practical salinity unit*)

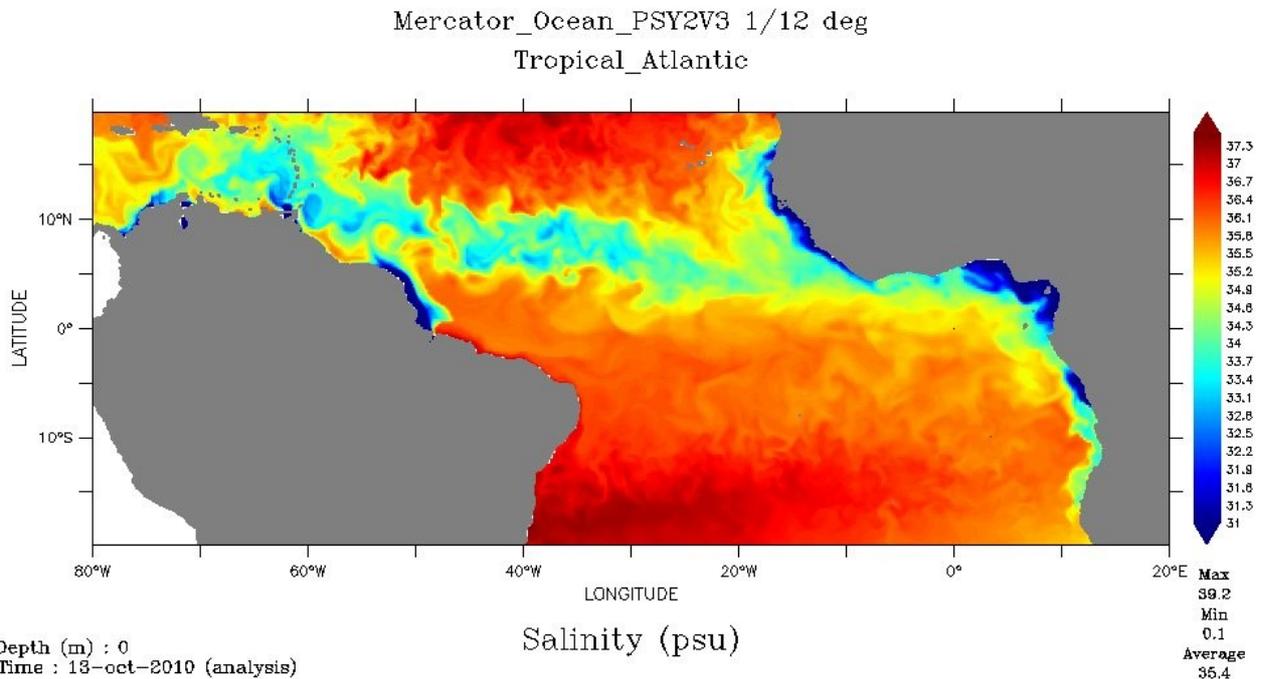
1 PSU correspond à 1 gramme de sel sec par kilogramme d'eau. Dans les océans et mers ouvertes, la salinité varie en surface de 31 psu à 37,9 psu. Dans certaines zones de la mer baltique, elle peut descendre à 10 psu et monter à 40 psu dans la mer rouge.



Carte de salinité de surface produite par MERCATOR Océan [1], le 13 octobre 2010

Vers une mesure de salinité

Réalisation d'un conductimètre



Lors d'un parcours sur l'océan à partir de la Guyane, la salinité de surface rencontrée varie de 31 à 35 psu.

Dans la conception du capteur qui va suivre (2^{ème} partie), nous tenterons de réaliser notre gamme de mesure assez large, de 25 à 40 psu.

Réalisation d'une eau de mer de concentration connue

Afin de valider rapidement nos premiers essais avec le futur capteur, il est important de savoir préparer des solutions s'approchant le plus de l'eau de mer, avec surtout une salinité connue [2].

Comment faire une solution à 30psu ?

On prend 1 litre d'eau et on ajoute 30g de sel.

Hum... pas si simple :

dans 30 gr de sel, il y a environ 15% d'eau

Un litre à 20°C ne contient pas la même quantité de matière qu'un litre à 30°C

Il vaut mieux procéder par pesées.

Vers une mesure de salinité

Réalisation d'un conductimètre



J'ai 1000g d'eau, combien de masse de sel dois-je ajouter pour avoir une concentration à 30psu ?

Le sel dont nous parlons est vendu dans les magasins d'aquariophilie pour eau de mer.

Considérons :

Le sel contient E% d'eau (pour 15% nous prendrons E=0,15), il a une masse totale de Ms (en grammes).

La salinité S est exprimée en psu (pour 30psu nous prendrons S = 0,030).

S = Masse de sel dissous / Masse totale

$$S = \frac{(1 - E) \times Ms}{1000 + Ms}$$

On retire l'eau pour avoir la masse de sels secs

$$(1000 \times S) + (Ms \times S) = (1 - E) \times Ms$$

$$(1000 \times S) = (1 - E - S) \times Ms$$

$$Ms = \frac{(1000 \times S)}{(1 - E - S)}$$

AN : E = 0,15 et S = 0,030

$$Ms = \frac{30}{(1 - 0,15 - 0,03)} = 36,6$$

Il faut donc ajouter 36,6g à 1000g d'eau pour obtenir une eau de mer de salinité 30psu.

Vers une mesure de salinité

Réalisation d'un conductimètre



Composition moyenne de l'eau de mer

L'eau de mer contient des anions (charge électronique négative) et des cations (charge électrique positive). Les sels de l'eau sont électriquement neutres, il y a autant d'anions que de cations.

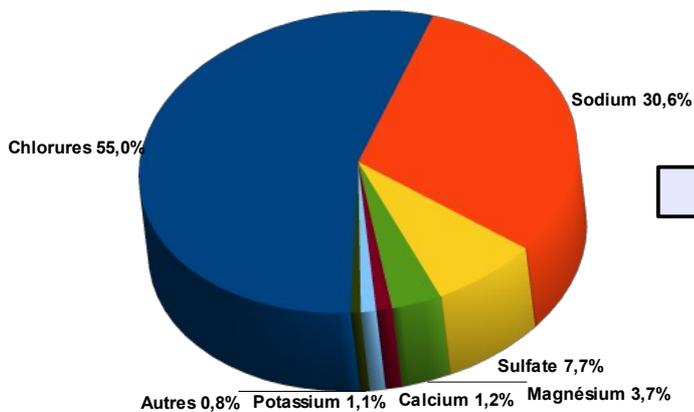
Le chlorure de sodium, présent à environ 55% dans l'eau se décompose en Na^+ et Cl^-

Globalement, on trouve 6 ions en proportion constante :

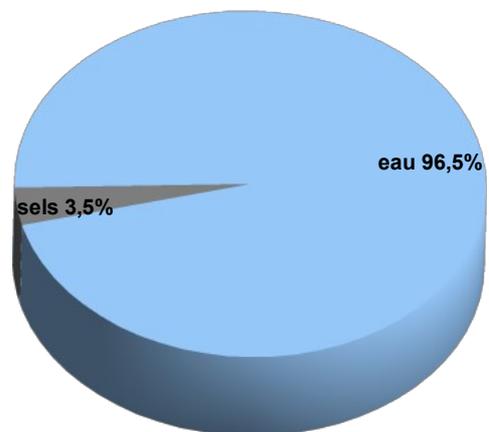
Sodium (Na^+), Chlorure (Cl^-), Sulfate (SO_4^{2-}), Magnésium (Mg^{2+}), Calcium (Ca^{2+}) et Potassium (K^+)

La variation de concentration que l'on cherche à mesurer vient du mélange de l'eau de mer avec de l'eau douce.

Composition ionique des eaux océaniques



Eau de l'océan mondial



Salinité moyenne : 35g/l

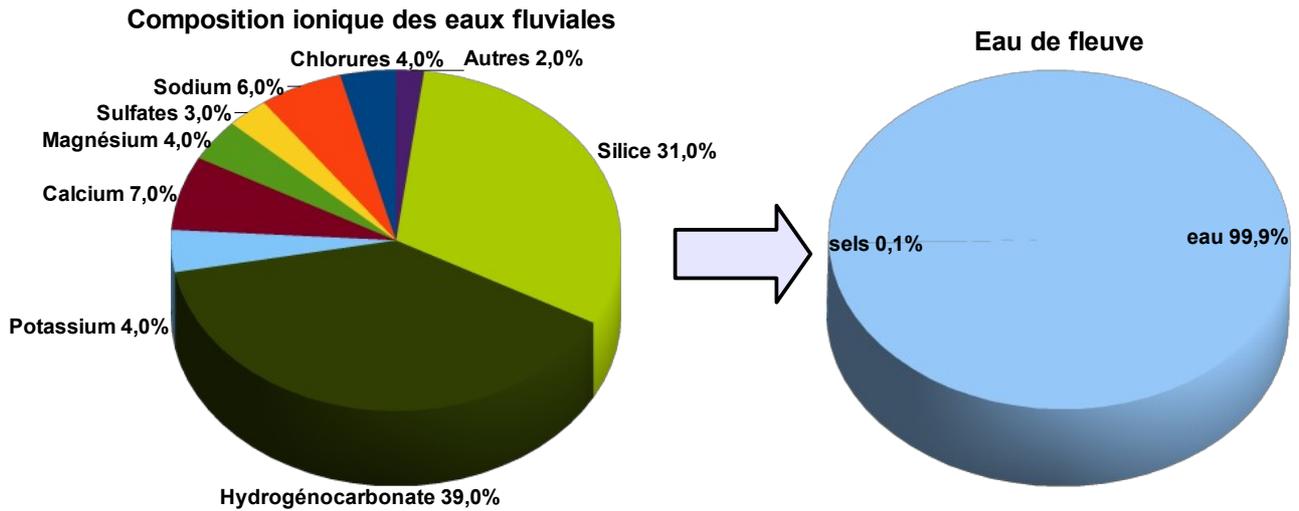
Vers une mesure de salinité

Réalisation d'un conductimètre



Composition moyenne de l'eau des fleuves

Les fleuves sont peu minéralisés. Leur composition varie selon la nature des sols drainés, mais les ions hydrogénocarbonate (HCO_3^-) et calcium (Ca^{2+}) sont prédominants. Seuls quelques lacs peuvent voir leur concentration en minéraux augmenter lorsqu'ils ne peuvent évacuer leurs eaux vers la mer et lorsque l'évaporation est importante (lacs salés).



3.Principe de mesure

Principe du conductimètre

Le conductimètre permet de mesurer la capacité de l'eau à conduire le courant électrique.

Dans les conducteurs, le courant est dû à un "déplacement" d'électrons. Dans un liquide, le courant est dû à un déplacement d'ions.

Le capteur du conductimètre est constitué de deux électrodes de forme rectangulaire placées l'une en face de l'autre.

La mesure de conductivité consiste à mesurer la conductance de la solution aqueuse étudiée.

Lorsque les tensions appliquées sont faibles, la solution se comporte comme un conducteur ohmique, la loi d'ohm peut s'appliquer :

$$u = R \times i$$

La conductance G est définie comme égale à l'inverse de la résistance, la loi d'ohm devient :

$$i = G \times u$$

La conductance se mesure en Siemens (S)

La conductance dépend de plusieurs choses et en premier de l'aspect matériel du capteur qui doit la mesurer :

$$G = \sigma \times \frac{S}{d}$$

G : Conductance (S)

σ : Conductivité ($S \cdot m^{-1}$)

S : surface d'une électrode (m^2)

d : la distance entre les électrodes (m)

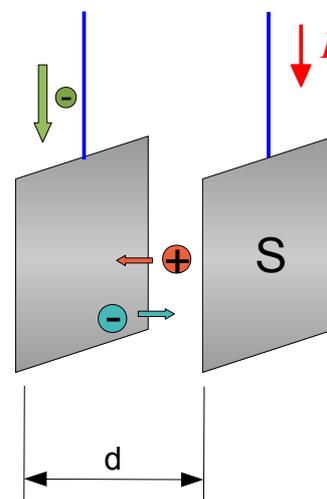


Fig.1 cellule de mesure composée de deux électrodes

La mesure de conductance (G) permet donc de retrouver la conductivité (σ)

A partir de maintenant, nous parlerons donc directement de mesure de conductivité.

La mesure de conductivité se fait en courant alternatif pour éviter l'oxydation des électrodes liée à l'électrolyse de l'eau.

Il nous faut créer une tension alternative à appliquer aux bornes du capteur et mesurer l'intensité du courant qui circule entre les électrodes, une fois l'ensemble plongé dans le liquide à étudier. Ce courant est converti en tension pour être acquis par la carte Mango.

Vers une mesure de salinité

Réalisation d'un conductimètre



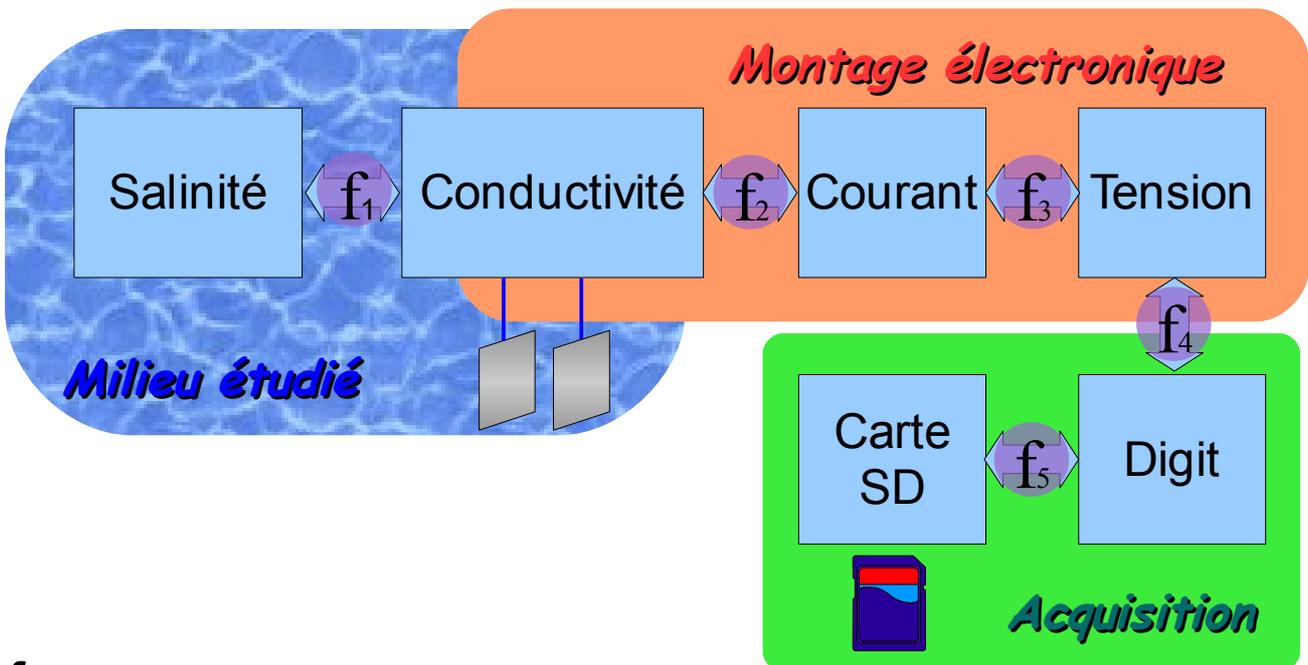
Méthode d'étalonnage

Il s'agit d'établir une relation entre la salinité et la tension mesurée :

Salinité → Conductivité → Courant électrique → Tension

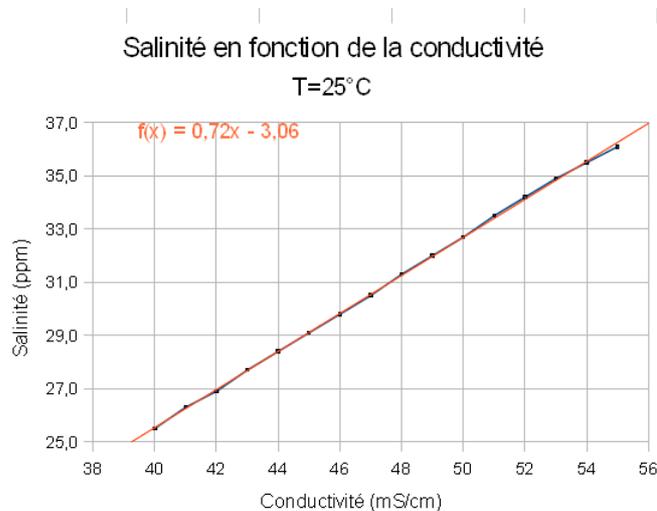
La méthode consiste à :

- Identifier chaque élément de la chaîne de mesure.
- Établir les fonctions mathématiques qui permettent de passer d'un élément à l'autre.
- Évaluer les perturbations possibles pour chaque élément.



f_1 : Salinité en fonction de la conductivité. La relation est établie par mesures successives de conductivité avec des solutions de salinité connue (voir partie précédente pour réaliser de telles solutions).

Conductivité (mS/cm) à 25°C	Salinité (ppm)
40	25,5
41	26,3
42	26,9
43	27,7
44	28,4
45	29,1
46	29,8
47	30,5
48	31,3
49	32,0
50	32,7
51	33,5
52	34,2
53	34,9
54	35,5
55	36,1



Vers une mesure de salinité

Réalisation d'un conductimètre

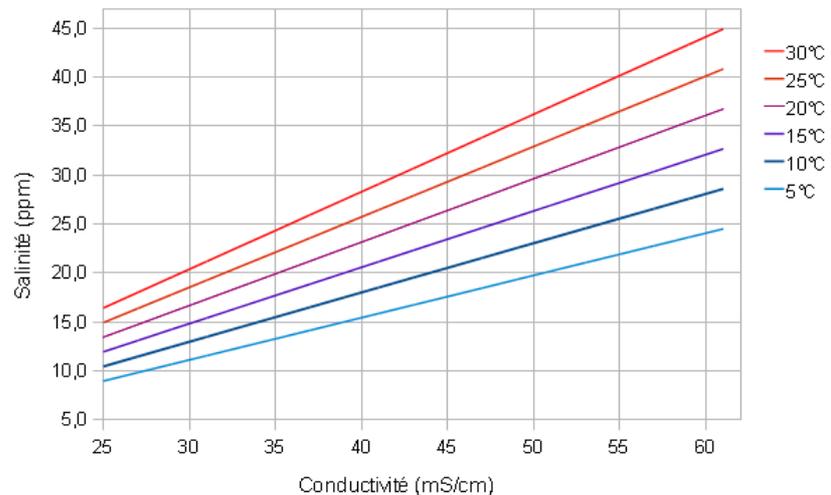


La température de la solution modifie la conductivité : plus la température est élevée, plus les ions sont agités et favorisent ainsi, le passage du courant. La conductivité augmente dans le même sens que la température de la solution, d'environ 2% par °C.

Une petite jonglerie mathématique avec les équations de droite permet de trouver la salinité en fonction de la conductivité et de la température :

$$S_a = (0,72 \times \sigma - 3,06) \times (1 + 0,02(T - 25))$$

Salinité en fonction de la conductivité
et de la température



S_a : Salinité en psu

σ : Conductivité ($\text{mS} \cdot \text{cm}^{-1}$)

T : température en degrés Celsius

f2 : La relation entre la conductivité et le courant électrique circulant entre les électrodes de la cellule est donnée par la formule vue dans la partie précédente :

$$i = \sigma \times \frac{S}{d} \times u$$

σ : Conductivité ($\text{S} \cdot \text{m}^{-1}$)

S : surface d'une électrode (m^2)

d : la distance entre les électrodes (m)

Si on change les unités : σ en $\text{mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ (unité des graphes ci-dessus) , en prenant S en cm^2 et d en cm, i en A et u en V, la relation devient :

$$i = \frac{1}{1000} \sigma \times \frac{S}{d} \times u$$

L'aspect physique des électrodes peut perturber la transformation de la conductivité en courant. Il faut veiller à ce qu'elles ne s'oxydent pas (l'interface entre le liquide et l'électrode doit varier le moins possible au cours de la vie de notre capteur).

Nous allons définir la constante de cellule : $k = \frac{S}{d}$ qui n'est pas définie par le calcul mais mesurée précisément avec une solution de KCl de concentration $0,1 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ dont la conductivité est connue :

T (°C)	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
σ ($\text{mS} \cdot \text{cm}^{-1}$)	10,48	10,72	10,95	11,19	11,43	11,67	11,97	12,15	12,39	12,64	12,88

Vers une mesure de salinité

Réalisation d'un conductimètre



f₃ : La conversion du courant en tension est faite en faisant passer le courant de mesure dans une résistance dont la valeur est précise et bien connue. La tension aux bornes de cette résistance doit être redressée et lissée pour être prise en compte par le système d'acquisition. Il sera aussi nécessaire de l'amplifier.

f₄ : La tension est numérisée par le système d'acquisition.
La carte d'acquisition Mango mesure des tensions comprises entre 0 à 5V. La numérisation est faite sur 10 bits. La résolution du système est de 0,005V.

f₅ : Le nombre numérique codé sur 10 bits est converti en tension au format ASCII, c'est à dire texte, qui sera écrit dans un fichier, sur la carte SD. Le fichier est importable directement dans un logiciel tableur.

Ordre de grandeur de conductivités connues

Eau pure	0,055	μS/cm
Eau distillée	0,500	μS/cm
Eau de montagne	1,000	μS/cm
Eau courante	500 à 800	μS/cm
Max. Eau potable	1055	μS/cm
Eau de mer	56	mS/cm
Eau Saumure	100	mS/cm

Source : Aquatechnique

4. Réalisation de l'instrument de mesure

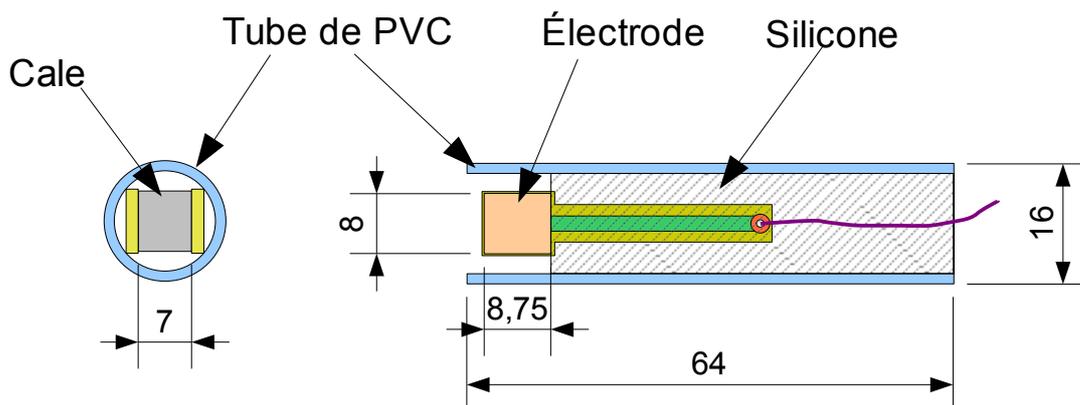
Réalisation des électrodes

Nous allons réaliser des électrodes de manière à avoir la constante de cellule $k = \frac{S}{d}$ égale à 1.

Ainsi, l'équation $i = \frac{1}{1000} \sigma \times \frac{S}{d} \times u$ devient : $i = \frac{1}{1000} \sigma \times u$ ou $i = G \times u$

avec la conductance : $G = \frac{1}{1000} \sigma$ en Siemens

Dans notre exemple, nous allons intégrer les électrodes dans un tube de PVC de 16mm de diamètre.



La distance entre les électrodes est de 0,7cm et leur surface est de 0,7cm² (0,8 x 0,875 cm), nous avons ainsi une constante théoriquement de 1.

Une pièce de bois ou de plastique est collée entre les deux cartes supportant les électrodes afin de maintenir la distance de 0,7cm. Le tout (sauf les électrodes) est collé (à l'araldite) et noyé dans du silicone afin d'assurer l'étanchéité de l'ensemble (partie hachurée).

Vers une mesure de salinité

Réalisation d'un conductimètre



Étude électronique

Pour réaliser les fonctions f2 et f3, il nous faut un peu d'électronique :

- un générateur de courant alternatif.
- un convertisseur courant/tension, amplificateur, redresseur et filtre.

Vous aurez également besoin de quoi faire un circuit imprimé, de quoi souder à l'étain, d'un multimètre et d'un oscilloscope pour la mise au point.

Le générateur de courant alternatif

Nous allons réaliser un oscillateur à pont de *Wien* qui génère un signal sinusoïdal.

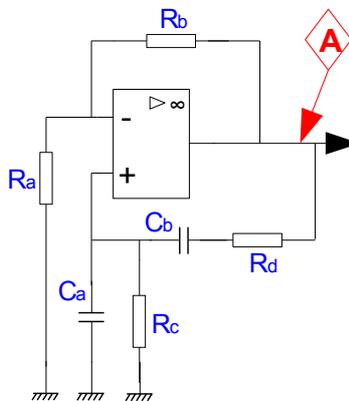
La condition d'oscillation est :

$$R_b = 2 \times R_a$$

$$C_a = C_b = C \text{ et } R_c = R_d = R$$

La fréquence d'oscillation est :

$$f = \frac{1}{2 \times \pi \times R \times C}$$



La pointe de l'oscilloscope en [A] permet de vérifier le bon fonctionnement de cette partie du montage. Vous devez obtenir une tension alternative sinusoïdale.

Choix de la fréquence d'oscillation

La fréquence doit être assez grande pour limiter le phénomène d'électrolyse (et donc de modification de la surface des électrodes) pendant la demi-période où la tension est du même sens.

En même temps, elle ne doit pas être trop grande pour ne pas perturber la mesure par les capacités parasites qui pourraient apparaître aux grandes fréquences (>10 KHz).

L'ordre de grandeur des fréquences conseillées est le suivant :

300Hz => calibre de 200µS/cm (Fleuve)



2KHz => calibre de 100mS/cm (Eau salée marine)



Voici un tableau de calcul des fréquences en fonction de la mesure choisie :

R (KΩ)	C (nF)	f (Hz)
33	10	482
6,8	10	2341

Vers une mesure de salinité

Réalisation d'un conductimètre



Limiter le courant dans la solution

Pour éviter l'érosion prématurée des électrodes, nous chercherons à limiter le courant qui va traverser la solution étudiée. Pour cela, nous ajusterons l'amplitude de la tension présentée à l'électrode.

Voici un tableau des amplitudes en tension du signal sinusoïdal produit par le pont de *Wien* :

Tension d'alimentation	Tension crête à crête	Tension efficace
5,0 v	8,32 v	2,94 v

Le milieu salé est très conducteur. La conductivité σ est d'environ 56 mS/cm (tableau page 11). Si on ne change rien, le courant passant dans l'eau salée sera de :

$$i = \frac{1}{1000} \sigma \times u \quad \text{avec } \sigma = 56 \text{ mS/cm et } U = U_{\text{eff}} = 2,94 \text{ v} \quad \text{donne } i = 164 \text{ mA (} U_{\text{alim}} = 5\text{V)}$$

(voir page 12)

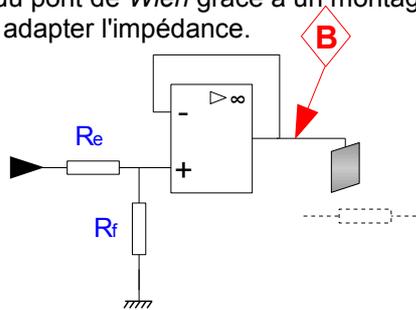
L'eau fluviale est beaucoup moins conductrice de l'électricité que l'eau de mer. La conductivité σ est d'environ 0,5 mS/cm (Tableau p11). le courant passant dans l'eau fluviale sera de :

$$i = \frac{1}{1000} \sigma \times u \quad \text{avec } \sigma = 0,5 \text{ mS/cm et } U = U_{\text{eff}} = 2,94 \text{ v} \quad \text{donne } i = 1,47 \text{ mA (} U_{\text{alim}} = 5\text{V)}$$

Division de la tension

D'après les données vues ci-dessus, pour avoir un courant de l'ordre du mA, il nous faudra diviser par 100 le courant (et donc la tension) initiale pour descendre à une centaine de millivolts efficaces. Nous allons donc diviser la tension issue du pont de *Wien* grâce à un montage à pont diviseur et un amplificateur opérationnel monté en suiveur pour adapter l'impédance.

Schéma théorique



Rapport de division :

$$u_f = u \times \frac{R_f}{(R_f + R_e)}$$

Ueff [A] (v)	Re (KΩ)	Rf (KΩ)	Ueff [B] (v)
2,94	560	33	0,16

Pour les fleuves, le courant passant entre les électrodes est assez faible. Dans ce cas, nous ne diviserons pas la tension. R_e est remplacée par un fil (strap) et R_f n'est pas soudée.

Vers une mesure de salinité

Réalisation d'un conductimètre



Lecture du courant qui passe entre les électrodes

Le courant qui est passé par les électrodes est converti en tension [C] à travers R_g puis amplifié [D].

Pour une meilleure précision, nous choisirons une résistance R_g assez précise (1%) : c'est elle qui permet de lire le courant traversant la solution ($U = R_g \times i$).

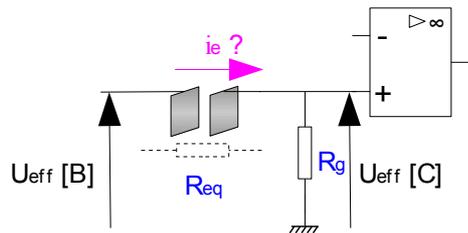
Avec une conductivité de $\sigma = 56 \text{ mS/cm}$, nous aurons une conductance de $G = 0,056 \text{ S}$, ce qui est équivalent à une résistance de $17,85 \text{ Ohms}$ (pour les formules, voir page 12).

Quel sera donc le courant qui passera entre les deux électrodes ?

On a :

$$U_{\text{eff}} [\text{B}] = 0,16 \text{ V}$$

$$R_{\text{eq}} = 17,85 \text{ } \Omega$$



Pour se situer au milieu de la gamme et se donner une marge d'ajustement, nous allons tabler sur une division par 2 (pont diviseur avec les résistances R_{eq} et R_g). Nous choisirons donc la valeur de R_g proche de R_{eq} dans la série de résistances disponibles ($R_g = 22 \text{ } \Omega$) (On pourrait choisir $18 \text{ } \Omega$ également)

Nous aurons donc
$$i_e = \frac{U_{\text{eff}}}{(R_{\text{eq}} + R_g)} \text{ A.N. : } i_e = 4,22 \text{ mA}$$

et la tension aux bornes de notre résistance R_g sera de $U_{\text{eff}} [\text{C}] = 93 \text{ mV}$

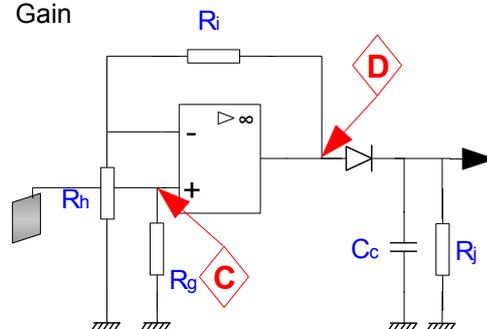
Il nous faut maintenant amplifier cette tension pour l'exploiter avec la carte MANGO.

Amplification de la tension, image du courant passant entre les électrodes

Le montage amplificateur est de type non-inverseur, choix qui nous permet d'avoir un courant d'entrée nul sur la borne + (ça nous arrange pour détecter des conductivités faibles et avoir une mesure *propre*).

La formule du gain est la suivante :

$$V_s = V_e \times \underbrace{\left(1 + \frac{R_i}{R_h}\right)}_{\text{Gain}}$$



On ne garde ensuite que les maximums positifs grâce à la diode. La tension positive est ensuite lissée par le filtre $R_j C_c$.

Vers une mesure de salinité

Réalisation d'un conductimètre



Exemple de calculs pour l'amplification



Amplification									
				Vcc		5v			
				Sortie max		4,5v			
Courant (mA)	Rg (Ω)	Ueff (mv) [C]	Rh (kΩ)	Ri (kΩ)	Gain	Ueff (v) [D]	Vf Diode (v)	Usortie (v)	
4,22	22	93	1	47	48	4,46	0,93	3,53	

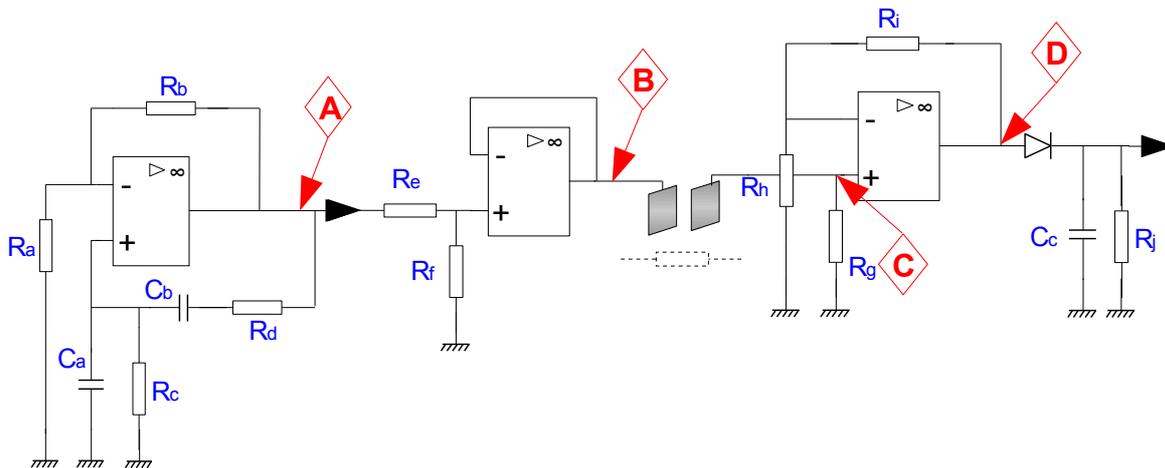
R_i est obtenue sur le schéma complet (page 18) avec une résistance fixe $R_{13} = 33K\Omega$ et une résistance ajustable de $R_{10} = 50K\Omega$.



				Vcc		5v			
				Sortie max		4,5v			
Courant (mA)	Rg (Ω)	Ueff (mv) [C]	Rh (kΩ)	Ri (kΩ)	Gain	Ueff (v) [D]	Vf Diode (v)	Usortie (v)	
0,86	22	19	1	235	236	4,47	0,93	3,54	

R_9 est obtenue sur le schéma complet (page 17) avec une résistance fixe $R_{13} = 150K\Omega$ et une résistance ajustable de $R_{10} = 100K\Omega$.

Schéma complet



Vers une mesure de salinité

Réalisation d'un conductimètre



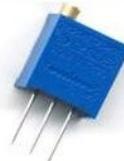
Réalisation électronique

Les composants

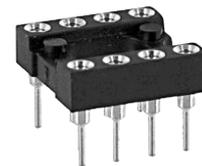
Tous les composants sont choisis en version traversante, c'est à dire que leurs pattes traversent le circuit imprimé contrairement aux composants en montage de surface (CMS) plus répandus dans l'industrie mais qui demandent une technique et un matériel particulier pour leur montage.

Les résistances ont une tolérance de 5% sauf pour R_g (voir plus haut).

Les résistances ajustables sont des multitours verticales.



Les amplificateurs opérationnels sont des OPA2277. Ils ont été choisis pour leur grande précision (1nA max), et leur très faible tension d'offset ($10\mu\text{V}$). Un boîtier 8 pattes comporte deux amplificateurs. Ne pas oublier de les placer sur des supports 8 broches.



Les condensateurs sont de type "milfeuil"



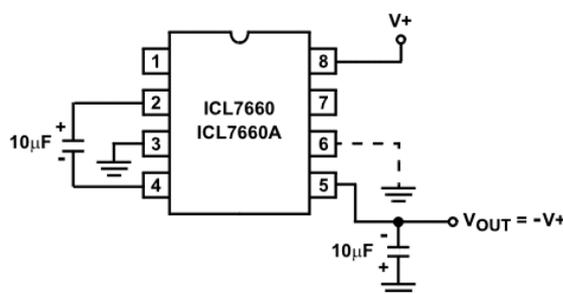
ou céramique



Dans notre montage, il est nécessaire de réaliser une alimentation symétrique (-5V, +5V) pour le bon fonctionnement des amplificateurs opérationnels.

La carte MANGO fournit uniquement du +5V. Nous allons donc utiliser un composant qui permet de réaliser une tension négative à partir d'une tension positive, cela avec peut de composants annexes.

Nous utiliserons un ICL 7660.



Les condensateurs de $10\mu\text{F}$ seront choisis de type céramique

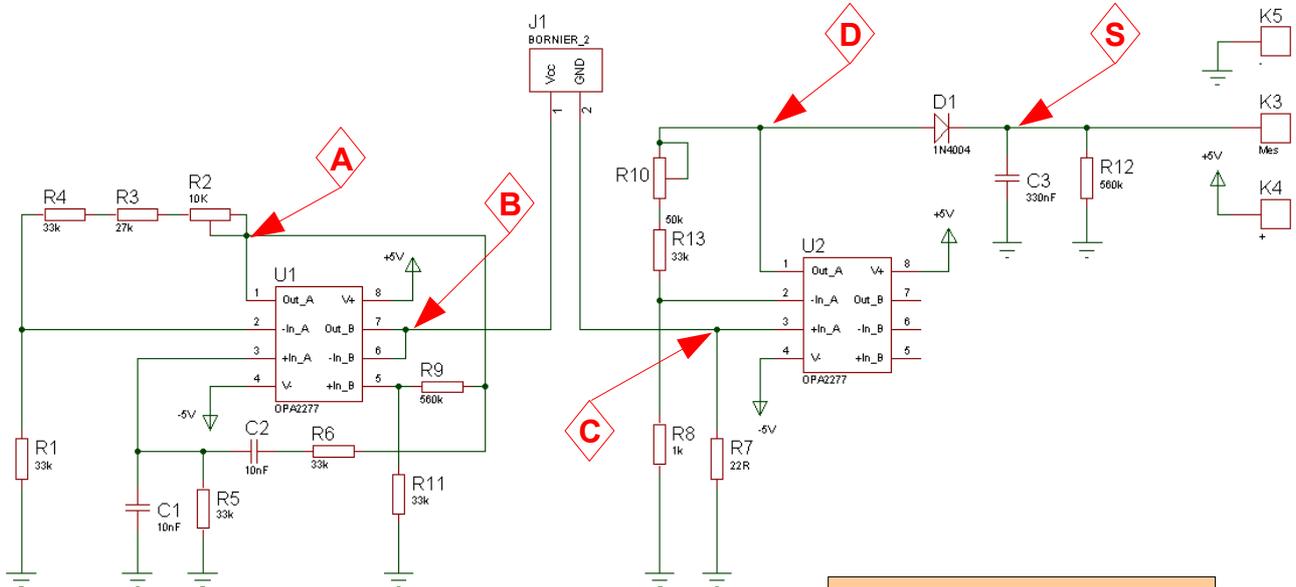


Vers une mesure de salinité

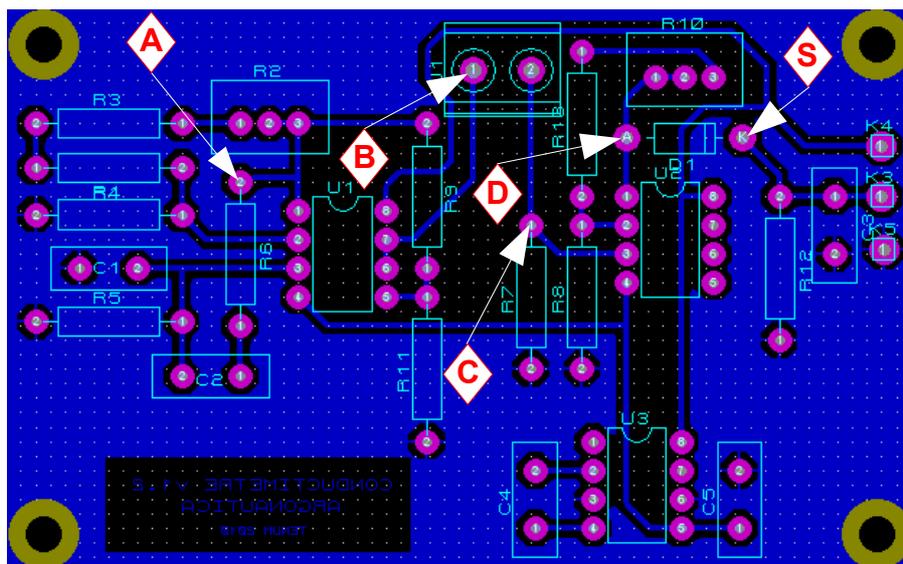
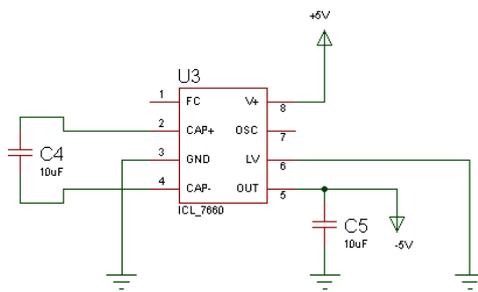
Réalisation d'un conductimètre



Schéma électrique complet



Attention : les valeurs des composants ont été choisies pour une mesure en mer. R5, R6, R9, R11, R7, R13 et R10 sont susceptibles de changer.



Ce typon est disponible au téléchargement en fichier pdf.

Vers une mesure de salinité

Réalisation d'un conductimètre



Mise au point

Les réglages avec l'oscilloscope

Les conditions d'oscillation du pont de *Wien* sont assez fines à trouver, c'est pour cela que nous avons mis une résistance ajustable (R_2). Avec la sonde d'un oscilloscope placée au point A, il convient de faire varier cette résistance ajustable pour obtenir une oscillation de grande amplitude (voir tableau ci-dessous). Vérifier aussi à des températures extrêmes (0°C et 30°C) que votre pont de *Wien* oscille toujours (Agir sur l'ajustable si le pont n'oscille plus).

Conductivité dans l'océan

Les résultats présentés dans le tableau ci-dessous ont été obtenus avec une solution d'eau de mer (qui a une conductivité inférieure à 56 mS/cm).



Point de contrôle	Forme du signal	Tension	Réglage
A		$F = 2,392\text{ kHz}$ $\Delta U = 8,56\text{ V}$ $U_{\text{eff}} = 2,94\text{ V}$	Agir sur l'ajustable R_2 pour obtenir une forme sinusoïdale stable.
B		$\Delta U = 480\text{ mV}$ $U_{\text{eff}} = 166\text{ mV}$	Division par 18 de la tension produite par le pont de <i>Wien</i> pour passer entre les électrodes.
C		$\Delta U = 140\text{ mV}$ $U_{\text{eff}} = 50\text{ mV}$	Électrodes plongées dans une solution de conductivité maximale (de notre gamme de mesure);
D		$\Delta U = 8,16\text{ V}$ $U_{\text{eff}} = 2,83\text{ V}$	Niveau obtenu après réglage de l'ajustable R_{10} de manière à placer la tension de sortie entre 3 et 4 V
S(ortie)		$U_s = 3,53\text{ V}$	

La fréquence des oscillations ne varie pas.

Pour adapter au besoin la tension de sortie, il est possible de jouer sur différents paramètres :

1/ Sur la tension ΔU qui passe par les électrodes (mesurée au point B). Il suffit de changer le rapport du pont diviseur constitué des résistances R_9 et R_{11} .

2/ Sur le gain de l'amplificateur placé après le passage par les électrodes, en agissant sur la valeur du couple R_{10} et R_{13} .

Vers une mesure de salinité

Réalisation d'un conductimètre



Conductivité dans un fleuve

Les résultats présentés dans le tableau ci-dessous ont été obtenus avec une solution d'eau du robinet d'une conductivité d'environ 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$.



Point de contrôle	Forme du signal	Tension	Réglage
A		$F = 487 \text{ Hz}$ $\Delta U = 4,88\text{V}$	Agir sur l'ajustable R_2 pour obtenir une forme sinusoïdale stable.
B		idem	
C		$\Delta U = 70\text{mV}$	Électrodes plongées dans une solution de conductivité maximale (de notre gamme de mesure);
D		$\Delta U = 4,72\text{V}$	Niveau obtenu après réglage de l'ajustable R_{10} de manière à placer la tension de sortie légèrement inférieure à 2V
S(ortie)		$U_s = 1,84\text{V}$	Régler le gain en agissant sur l'ajustable R_{10} .

La fréquence des oscillations ne varie pas.

Vers une mesure de salinité

Réalisation d'un conductimètre



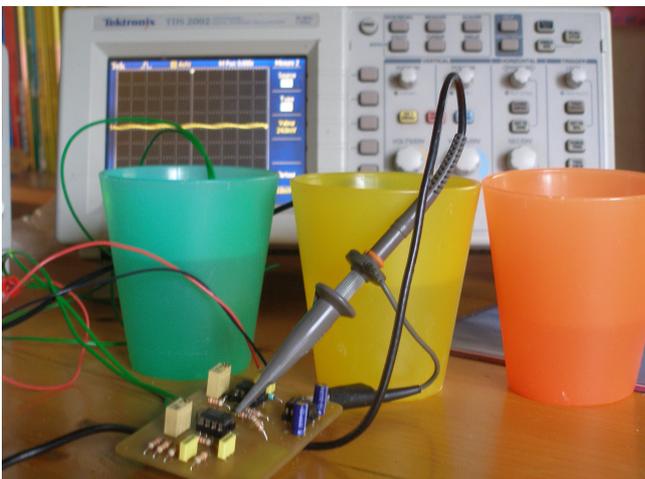
Est-ce que mon capteur fonctionne ?

Un contrôle aux différents points mentionnés précédemment permet d'évaluer la cohérence des éléments du montage.

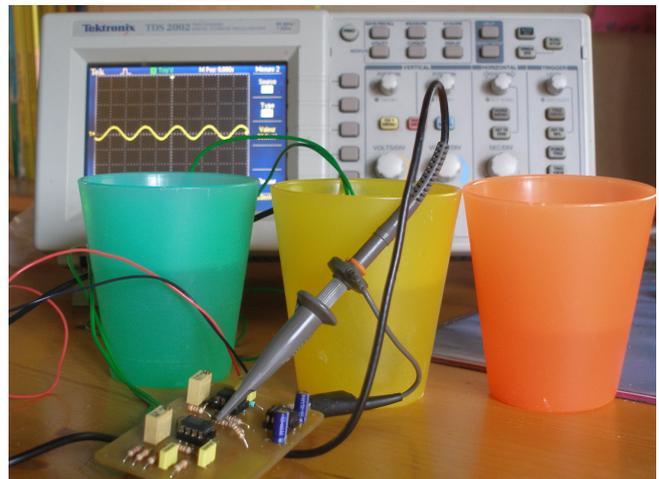
Nous allons visualiser ce que produit le pont de *Wien* à travers une solution de test pour évaluer la sensibilité de notre capteur.

Nous plaçons donc notre capteur dans des solutions de concentrations ioniques différentes pour visualiser à l'oscilloscope ce que devient notre belle oscillation vue au point **D**.

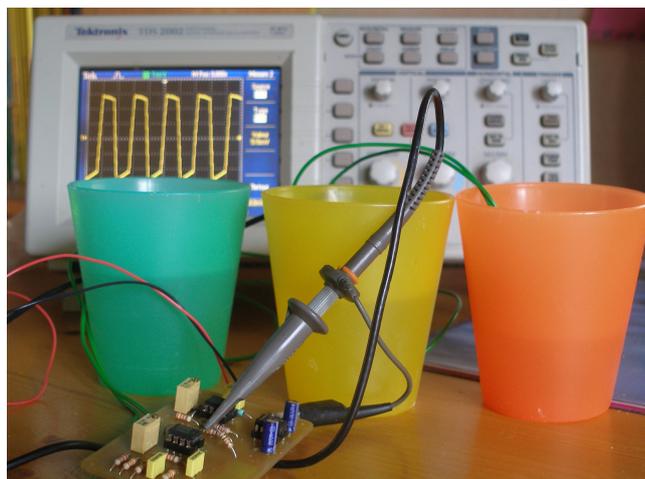
La pointe de l'oscilloscope est placée à gauche de la résistance R_5 du montage.



Test dans l'eau de pluie



Test dans de l'eau minérale



Test dans de l'eau salée

(Le montage nécessite ici, une baisse du gain du dernier amplificateur).

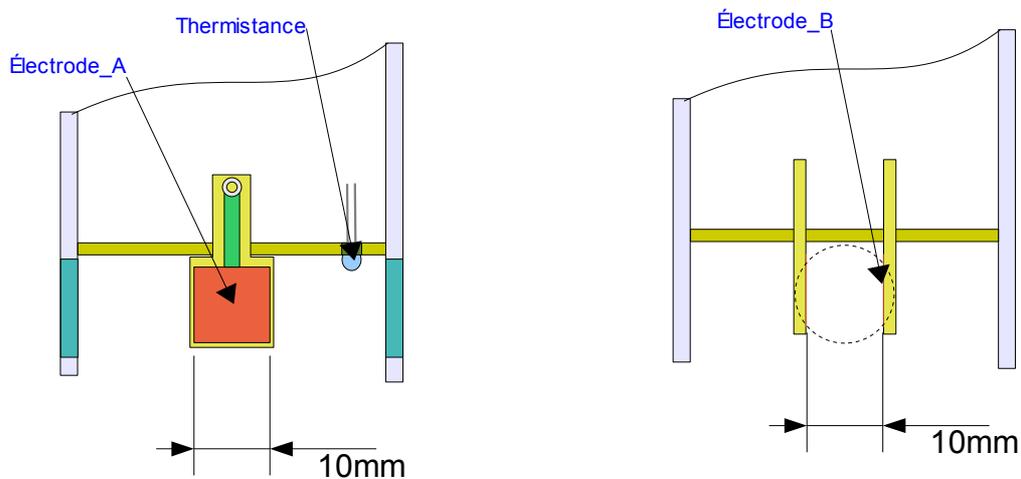
Vers une mesure de salinité

Réalisation d'un conductimètre



Intégration du capteur

Le capteur est composé de deux électrodes de 1cm² gravées dans une plaque de circuit imprimé recouverte une fine couche de cuivre. L'ensemble est intégré dans le bas d'un tube de PVC constituant la sonde(1). Les électrodes sont placées à 1cm l'une de l'autre et collées à travers un disque d'un diamètre égale à celui intérieur du tube de PVC.



(1) Cette sonde peut contenir d'autres capteurs, comme par exemple ici, le capteur de température.



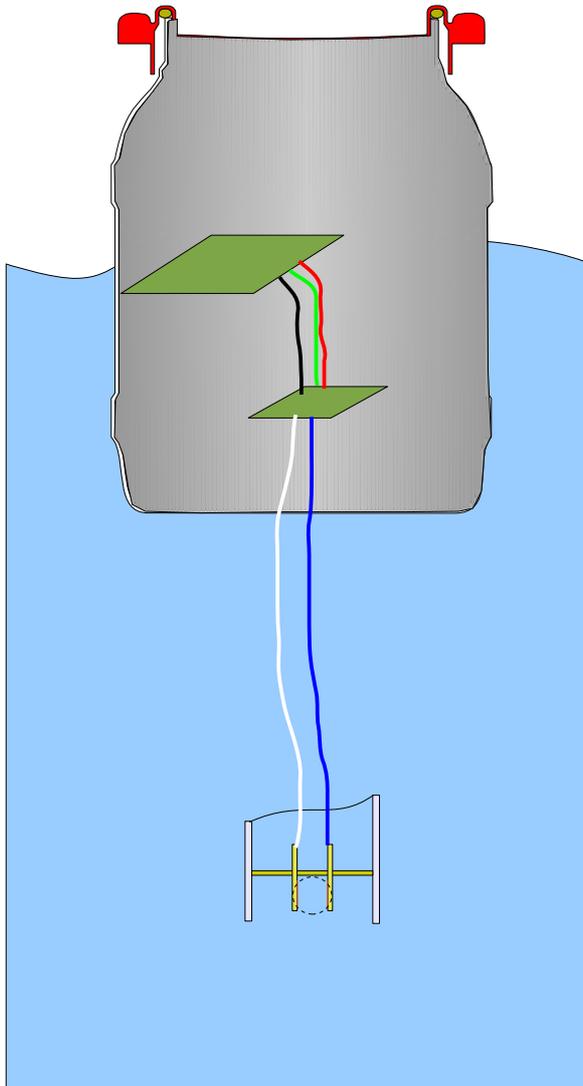
Exemple de montage des électrodes, avec une thermistance (à gauche) sous un fluorimètre. Le tout sera monté dans un tube suivant le schéma ci-dessus.

Vers une mesure de salinité

Réalisation d'un conductimètre



Intégration dans la ligne de mesure



La carte de conditionnement du capteur est placée dans la bouée et connectée à la carte Mango par trois fils (Noir, Vert, Rouge)

Seuls les deux fils qui partent vers les électrodes sortent de la bouée.

Il est possible qu'il y ait des perturbation le long de ces fils dues à la longueur excessive de ces fils mais également la conductivité même du milieu dans lequel ils se trouvent (eau salée).

Couleurs des fils et significations

Noir	: Masse
Rouge	: +5V
Vert	: Mesure en tension
Blanc	: Électrode A
Bleu	: Électrode B

Vers une mesure de salinité

Réalisation d'un conductimètre



Étalonnage

Réaliser plusieurs solutions avec des dosages de sel différents :
20 PSU, 25PSU, 30PSU, 35PSU et un flacon d'eau distillée (eau de pluie).

1/ Laisser stabilisé les flacons avec la température ambiante. S'en assurer en faisant des mesures de température de chaque flacon espacées de 5mn pour vérifier que la température ne varie plus.

2/ Réaliser les premières mesures en allant du flacon d'eau distillée et par ordre de croissance de salinité jusqu'au flacon de 35PSU.

3/ Vérifier que l'on ne sature pas.

- Si la gamme est trop basse en tension de sortie, il est possible de l'augmenter en jouant sur le gain (R10).
- Si la gamme est trop haute, il est possible de descendre les tensions de sortie en diminuant l'amplitude du signal sinusoïdal qui arrive sur les électrodes

4/ Évaluer les mesures avec celles de l'étalonnage théorique

5. Références

[1] MERCATOR Océan http://bulletin.mercator-ocean.fr/html/produits/bestproduct/welcome_fr.jsp

[2] Bernard CAPEL <http://mars.reefkeepers.net/Articles/Salinite/Salinite.html>

[3] Gérard COPIN-MONTÉGUT http://www.obs-vlfr.fr/Enseignement/enseignants/copin/Sel_imp.pdf

[4] Laboratoire d'Océanographie de Villefranche <http://www.obs-vlfr.fr/LOV/D3PC/index.htm>

Contact : postmaster@kikiwi.fr