

Influence du substrat sur la propagation dans l'eau d'un champ électrique produit par un engin de pêche électrique

Gaétan Pottier¹

Résumé. Lors de sessions de pêche électrique, la prospection s'effectue sur différents types de substrats. Cette étude a été mise en place pour vérifier si le type de substrat, où se trouvent l'anode et la cathode, a une influence sur la dispersion du champ électrique dans l'eau. Un dispositif expérimental a été mis en place pour analyser le profil du gradient de tension à partir de l'anode tout en contrôlant le type de substrat. Les résultats montrent que le substrat organique a tendance à diminuer la résistance équivalente de l'électrode tandis que le substrat inorganique l'augmente. Un déséquilibre au niveau des résistances des électrodes peut donc avoir lieu. En conséquence, le profil du gradient de tension varie en fonction de la combinaison des types de substrat où se trouvent les deux électrodes.

Mots clés : pêche électrique, gradient de tension, influence du substrat

Introduction

Scholten (2003) a développé des formules pour quantifier une gamme efficace de pêche électrique pour trois types de substrats (gravier, sable, vase). Il a observé une diminution de cette gamme efficace de 20%-30% sur du substrat vaseux par rapport au gravier ou au sable. Dans ce cas-ci, il a évalué une réponse biologique comme variable réponse en utilisant la densité de courant J (exprimé en $A.cm^{-2}$) pour caractériser le champ électrique (**Equation 1**).

$$J = C_a E \quad (1)$$

Avec C_a la conductivité ambiante en $\mu S.cm^{-1}$ et E le gradient de tension en $V.cm^{-1}$.

Lors d'une campagne de pêche électrique, nous avons remarqué que le fait de placer la cathode sur un substrat organique (vaseux) et l'anode sur un substrat inorganique (concrétions calcaires) semblait influencer le rayon théorique d'attraction par rapport à une configuration où l'anode et la cathode sont placées sur un même type de substrat (sablo-vaseux). La question de l'influence du substrat sur la dispersion du champ électrique s'est alors posée.

Le champ électrique issu de l'anode est généralement caractérisé par le gradient de tension noté E et exprimé en $V.cm^{-1}$. La taille de champ électrique provenant de l'anode dépend de la tension qui sort de l'anode. Cette tension à l'anode est notée V_a . La valeur de V_a est conditionnée par celles des résistances équivalentes des électrodes. Lorsque les électrodes sont plongées dans l'eau, leur résistance va dépendre de la conductivité de l'eau, elle variera donc si cette dernière varie. La résistance équivalente est donc la résistance de l'électrode à une conductivité ambiante donnée.

La loi de Kirchhoff permet de calculer la valeur de V_a (**Equation 2**).

$$V_a = \frac{R_a}{R_a + R_c} \times U \quad (2)$$

¹ INRA, Unité expérimentale Écologie et Ecotoxicologie aquatiques, Pôle GEST'AQUA, 35042 Rennes, France
gaetan.pottier@inra.fr

Avec R_a la résistance équivalente de l'anode, R_c la résistance équivalente de la cathode et U la tension réglée sur l'engin de pêche électrique.

L'hypothèse de cette expérience est que le type de substrat et sa proximité avec l'anode et la cathode influencent sur la valeur de leur résistance équivalente, et donc sur la dispersion du champ électrique dans l'eau.

Matériels et méthodes

Protocole expérimental

Pour vérifier l'influence possible du substrat sur la dispersion du champ électrique, un protocole a été mis en place. Il s'agit d'effectuer le test en condition contrôlée dans des bacs à l'aide d'un engin de pêche à l'électricité (LR-24, Smith Root, 400W). L'anode était un cercle en acier inoxydable de 20 cm de diamètre et d'une section transversale de 0,6 cm de diamètre. La cathode était constituée d'un câble en acier inoxydable de 110 cm de long et d'une section transversale de 0,5 cm de diamètre. Chaque électrode a été placée dans un bac différent, cela ne perturbait pas le fonctionnement de l'engin de pêche électrique (**Figure 1**).

Un substrat de 10 cm d'épaisseur a été placé au fond du bac. Puis 35 cm d'hauteur d'eau du robinet ont été ajoutés par-dessus. L'eau a été mise à reposer au minimum 17 h pour que les possibles matières en suspensions décantent. Les conductivités des différents bacs ont été mesurées pour vérifier qu'elles restent proches.

L'anode a ensuite été placée à 35 cm du bord du bac. Elle a été positionnée à plusieurs hauteurs de la colonne d'eau (10 cm, 20 cm et 30 cm) pour vérifier à quelle proximité le substrat pouvait avoir une influence significative sur la dispersion du courant.

Une sonde Penny a été fixée à un socle pour mesurer le gradient de tension dans l'eau. Cela permettait d'avoir une position horizontale et verticale fixe lors des mesures. Avant de prendre les mesures, la sonde a été installée à la même hauteur que l'anode et en direction de son centre, perpendiculaire aux équipotentielles, pour mesurer le gradient de tension maximal à chaque position.

La cathode a été positionnée dans l'autre bac. Elle a été étalée dans son entièreté sur le substrat à égale distance des bords du bac. Pour que le circuit électrique ne soit pas ouvert, un câble électrique en acier inoxydable (une partie de 3 mm de diamètre et 10 cm de long en contact avec l'eau) reliait les extrémités de chaque bac. Ses extrémités étaient positionnées à 15 cm au-dessus du substrat.

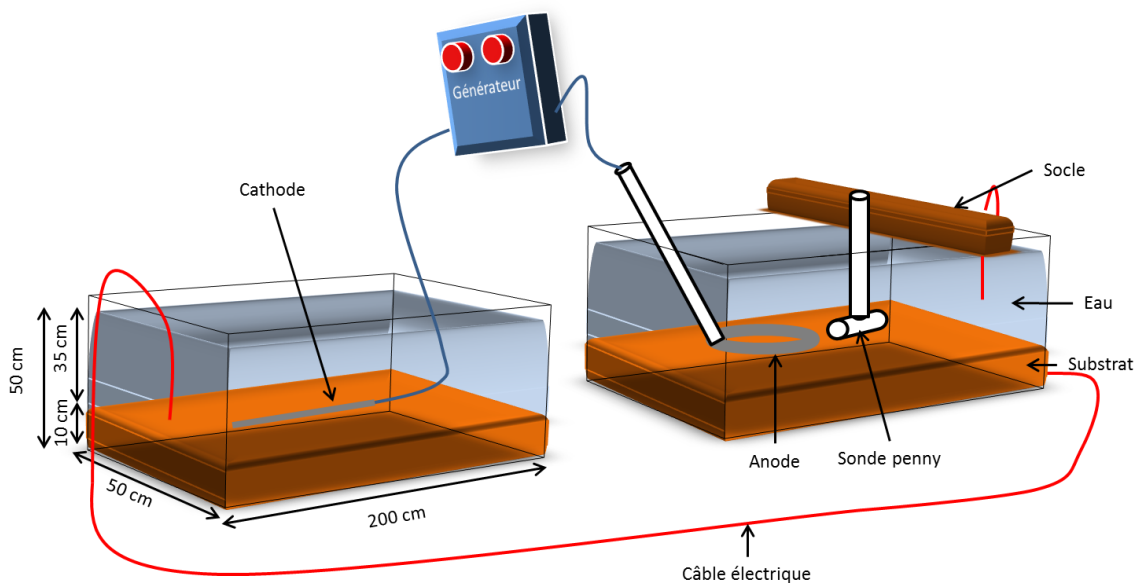


Figure 1. Protocole expérimental pour évaluer l'influence du substrat sur la dispersion du champ électrique dans l'eau.

Le Cahier des Techniques de l'INRA 2017 (91)

Deux types de substrats ont été choisis : un substrat organique (vase) et un substrat inorganique (gravier). Plusieurs combinaisons de substrat ont été effectuées pour mesurer l'influence possible sur la dispersion du champ électrique (**Tableau 1**).

Tableau 1 . Combinaison de types de substrats pour chacun des bacs contenant la cathode et l'anode

N° combinaison	Cathode	Anode
1	Gravier	Gravier
2	Gravier	Vase
3	Vase	Gravier
4	Vase	Vase

Une tension de 150 V a été réglée sur l'engin de pêche électrique pour pouvoir constater des possibles variations nettes du gradient de tension.

Le gradient de tension a été mesuré à 10 cm, 20 cm, 30 cm, 40 cm, 50 cm et 60 cm à partir du bord de l'anode. Pour chaque position, cinq mesures de gradient de tension ont été effectuées.

Durant l'expérience, la conductivité ambiante de l'eau dans les bacs contenant les électrodes variait du fait de la variation de température journalière (**Tableau 2**). Cependant les conductivités ambiantes observées au sein de chaque bac étaient relativement proches du fait d'un ratio proche de 1. De ce fait seule la conductivité du substrat a pu avoir une influence sur la résistance équivalente des électrodes.

Tableau 2. Conductivités ambiantes de l'eau en fonction des bacs contenant les différents substrats et les différentes électrodes. *CambAnode* : conductivité ambiante de l'eau où se trouve l'anode. *CambCathode* : conductivité ambiante de l'eau où se trouve la cathode

Substrat		Hauteur (cm)	Conductivité ambiante ($\mu\text{S/cm}$)		Ratio <i>CambAnode/CambCathode</i>
Anode	Cathode		Anode	Cathode	
Gravier	Gravier	10	454,97	426,85	1,07
		20	470,26	446,72	1,05
		30	477,14	456,71	1,04
Gravier	Vase	10	449,50	470,68	0,96
		20	456,50	477,96	0,96
		30	482,68	512,04	0,94
Vase	Gravier	10	441,82	418,71	1,06
		20	479,64	453,71	1,06
		30	493,10	470,00	1,05
Vase	Vase	10	479,51	436,02	1,10
		20	488,16	445,55	1,10
		30	516,37	476,41	1,08

Traitement des données

Les traitements de données ont été effectués à l'aide du logiciel R 3.0.3 (R Development Core Team, 2011).

Pour vérifier si les différentes combinaisons de substrats et la hauteur de la mesure avaient une influence sur la dispersion du champ électrique, un modèle linéaire généralisé a été construit en prenant le gradient de tension comme variable dépendante et la hauteur et la combinaison de substrats comme variables explicatives. Une analyse de la variance (fonction `Anova()`, package `car`, Fox et Weisberg, 2011) a ensuite été appliquée à ce modèle pour vérifier si les variables explicatives avaient un effet sur la variable réponse.

Ensuite, pour affiner l'analyse, pour chaque hauteur et chaque distance à l'anode, un modèle linéaire a été construit en prenant la variable gradient de tension en tant que variable dépendante et la combinaison de substrats comme variable explicative.

Dans le cas où l'ANOVA détectait une influence significative d'une variable explicative, un test *post-hoc* de Tukey était effectué.

Pour chaque modèle, la normalité des résidus a été vérifiée à l'aide du test de Shapiro-Wilk et l'homoscédasticité à l'aide du test de Levene.

Résultats

Le gradient de tension E a été mesuré pour trois hauteurs de l'anode au-dessus du substrat en fonction de différentes combinaisons de substrat (**Figure 2**). De manière générale les profils présentent une même tendance à la baisse de la valeur du gradient de tension lorsqu'on s'éloigne du bord de l'anode. Les combinaisons de substrat ont eu une influence différente sur le gradient de tension en fonction de la hauteur de la mesure (ANOVA, p value<0,001).

À 10 cm au-dessus du substrat (**Figure 2A**), la combinaison 2 permet d'observer un profil avec des valeurs de E supérieures vis-à-vis des autres profils. Puis les combinaisons 1 et 4 montrent un profil de E similaire dont certaines valeurs ne sont pas significativement différentes. Enfin la combinaison 3 induit une baisse de la valeur de E .

À 20 cm au-dessus du substrat (**Figure 2B**), la tendance observée est différente. La combinaison 2 induit le profil de E avec les valeurs les plus élevées. Par contre, les combinaisons 1 et 3 induisent les profils de E dont les valeurs sont les moins élevées. Puis la combinaison 4 induit un profil intermédiaire.

À 30 cm au-dessus du substrat (**Figure 2C**), la tendance observée est quasiment identique à celle observée à 20 cm de hauteur. Seul le profil de E avec la combinaison 4 a une tendance à avoir des valeurs supérieures, mais reste intermédiaire entre le profil de la combinaison 2 et des combinaisons 1 et 3.

Les combinaisons 1 et 3 sont les seules à ne pas être différentes de façon générale pour les hauteurs d'anode de 20 et 30 cm (**Figure 2B** et **Figure 2C**, **Tableau 3**).

La hauteur de l'anode au-dessus du substrat a été un facteur influençant le profil du gradient de tension (**Tableau 4**). De façon générale, lorsque l'anode est au-dessus d'un substrat vaseux, le fait d'augmenter sa position verticale influence le gradient de tension (**Figure 2**). C'est moins le cas lorsque l'anode se situe au-dessus d'un substrat graveleux.

Tableau 3. P-values issues des tests post-hoc de Tukey pour chaque combinaison d'hauteur d'anode et de distance à l'anode afin d'évaluer les différences de gradient de tension entre les différentes combinaisons de substrats. GG : Couple Anode Gravier + Cathode Gravier. GV : Couple Anode Gravier + Cathode Vase. VG : Couple Anode Vase + Cathode Gravier. VV : Couple Anode Vase + Cathode Vase. *** : pvalue<0,001. ** : pvalue<0,01. * : pvalue<0,05

		Hauteur de 10 cm				Hauteur de 20 cm				Hauteur de 30 cm			
Distance à l'anode	10 cm	GG	GV	VG	VV	GG	GV	VG	VV	GG	GV	VG	VV
		GG	***	***	***	GG	***	**	***	GG	***	0,74	***
		GV		***	***	GV		***	***	GV		***	0,47
		VG			***	VG			***	VG			***
		GG	***	***	***	GG	***	*	***	GG	***	0,08	***
		GV		***	***	GV		***	***	GV		***	***
	VG			***	VG			***	VG			***	
	30 cm	GG	***	***	*	GG	***	0,52	***	GG	***	0,08	***
		GV		***	***	GV		***	***	GV		***	***
		VG			***	VG			***	VG			***
	40 cm	GG	***	***	0,65	GG	***	0,63	***	GG	***	0,65	***
		GV		***	***	GV		***	***	GV		***	***
		VG			***	VG			***	VG			***
	50 cm	GG	***	***	0,74	GG	***	0,54	***	GG	***	0,65	***
		GV		***	***	GV		***	***	GV		***	***
		VG			***	VG			***	VG			***
	60 cm	GG	***	***	***	GG	***	0,56	***	GG	***	0,14	***
		GV		***	***	GV		***	***	GV		***	***
		VG			***	VG			*	VG			***

Tableau 4. P-values issues des ANOVAs pour chaque combinaison de substrat et de distance à l'anode afin d'évaluer un effet de la hauteur. *** : pvalue<0,001. ** : pvalue<0,01. * : pvalue<0,05

		Combinaisons de substrats			
		Gravier-Gravier	Gravier-Vase	Vase-Gravier	Vase-Vase
Distance à l'anode	10 cm	***	0,07	***	***
	20 cm	*	0,93	***	***
	30 cm	0,49	0,29	***	***
	40 cm	***	0,76	***	***
	50 cm	***	0,07	***	***
	60 cm	0,88	***	**	***

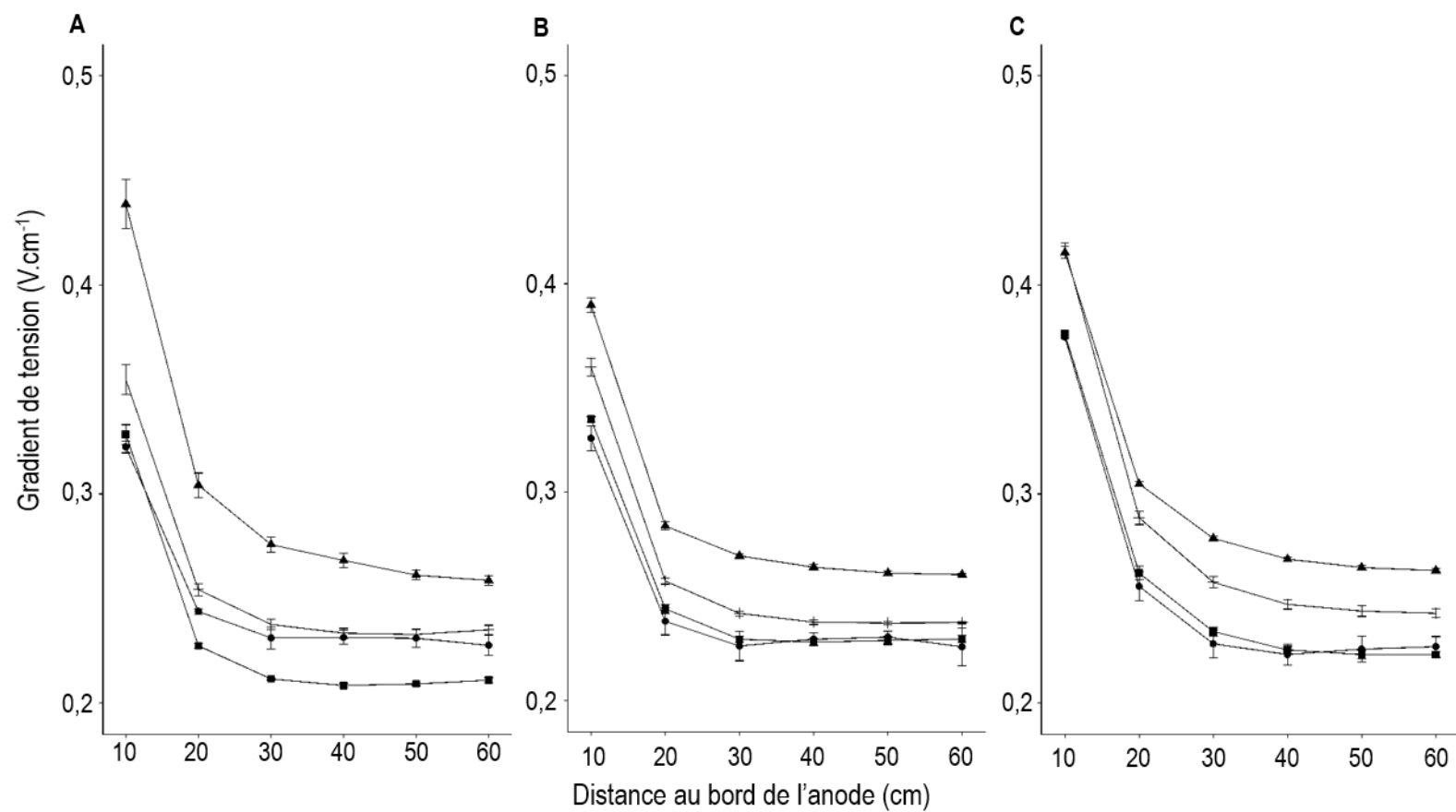


Figure 2. Profil du gradient de tension en fonction de la hauteur de l'anode et du couple de substrat pour l'anode et la cathode. A : hauteur de 10 cm. B : hauteur de 20 cm. C : hauteur de 30 cm.

Les couples de substrat sont indiqués par une forme différente sous la forme substrat anode + substrat cathode.

Rond : Gravier+Gravier. Triangle : Gravier+Vase. Carré : Vase+Gravier. Croix : Vase+Vase. Barres d'erreur : Ecart-type.

Discussion

Lors de cette expérience, les profils de gradient de tension évoluent en fonction du couple de substrat où se trouvent les électrodes et aussi en fonction de la distance de l'anode au substrat. Il est important de garder en tête que la cathode est en contact permanent avec le substrat.

Nous nous attendions à avoir des profils similaires lorsque le substrat était le même pour l'anode et la cathode (combinaisons 1 et 4). C'est le cas lorsque l'anode est à la position la plus proche du substrat. La hauteur de 10 cm est la position où l'anode est la plus influencée par la conductivité du substrat. Par contre lorsque l'anode est à 20 cm et 30 cm au-dessus du substrat, il semblerait que ce soit celui de la cathode qui fasse la différence. C'est-à-dire que lorsque la cathode est sur le substrat vaseux organique, sa résistance équivalente diminue et donc la tension de sortie à l'anode V_a augmente. A l'inverse, le fait que la cathode soit sur le substrat graveleux inorganique induit une augmentation de sa résistance équivalente et donc une diminution de V_a .

D'un autre côté, le fait d'augmenter la distance entre l'anode et le substrat permet de diminuer l'influence de ce dernier sur la résistance équivalente de l'anode. Cela signifie que le fait d'augmenter la hauteur induit une hausse de sa résistance équivalente et donc de V_a . Le fait que la hauteur ait une influence plus marquée sur le gradient de tension et quand l'anode est au-dessus d'un substrat vaseux montre que le substrat vaseux a plus d'influence sur la résistance équivalente de l'anode que le substrat graveleux. Le fait que le substrat soit plus conducteur doit en être cause.

Ces résultats corroborent avec ceux de Scholten (2003) où la cathode était restée fixe sur le substrat durant son expérience.

Conclusion

Cette expérience a été effectuée en conditions contrôlées pour pouvoir comprendre le phénomène qui peut apparaître *in-situ*. Lors de pratiques de pêches électriques, la cathode est généralement étalée sur le substrat du lit de la rivière. Ces résultats suggèrent que lorsque le substrat est organique, le fait d'en approcher l'anode induit une réduction du champ électrique qui en sort. De plus, le type de substrat où est installée la cathode va avoir de grosses conséquences sur la taille du champ électrique à l'anode. En effet le fait d'installer la cathode sur un substrat organique va induire une hausse du champ électrique à l'anode et inversement si la cathode est placée sur un substrat inorganique et moins conducteur.

Pour limiter une grande variation de la distance du champ d'attraction autour de l'anode, il est donc conseillé que la cathode soit positionnée sur un substrat identique à celui où l'anode se situe. Les substrats ne sont pas homogènes le long d'un tronçon prospecté, il est donc recommandé de placer la cathode sur le substrat dominant.

Références bibliographiques

Fox J, Weisberg S (2011) An {R} Companion to Applied Regression. Second Edition. Thousand Oaks CA. Sages Publications [WWW Document].

R Development Core Team (2011) R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing [WWW Document]. URL <http://www.r-project.org/> (accessed 8.25.15).

Scholten M (2003) Efficiency of point abundance sampling by electro-fishing modified for short fishes. *J Appl Ichthyol* **19**: 265–277.