



■ CRA

POUR LA REDUCTION DU RISQUE REQUIN

A photograph of a person in a wetsuit standing in shallow water, splashing. A boogie board and leash are visible. The image is overlaid with a dark blue semi-transparent box containing text.

Résultats des tests
expérimentaux sur les
équipements de
protection individuels
répulsifs à impulsion
électrique

Avril 2019





MOTS-CLES :

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

E. Chateuminois ; M. Hoarau ; F. Maillard (2019) – Projets innovants du Centre de Ressources et d'Appui pour la réduction du risque requin (CRA) - Résultats des tests expérimentaux sur les équipements individuels de répulsion à impulsion électrique - Rapport Final.CRA-V2.1

SOMMAIRE

1	CONTEXTE ET DEMARCHE EXPERIMENTALE	9
<hr/>		
1.1	CONTEXTE DE LA DEMARCHE	9
1.2	SYNTHESE DE L'ETAT DE L'ART DES CONNAISSANCES SUR L'EFFICACITE DES EPI	11
1.2.1	Considérations générales	11
1.2.2	Synthèse de l'état de l'art	12
1.2.3	Utilisation des EPI à champ électrique pulsé comme politique publique de réduction du risque	13
1.3	APPAREILS TESTÉS	15
1.3.1	ESHARKFORCE	15
1.3.2	NOSHARK	16
1.3.3	OCEAN GUARDIAN – SHARKSHIELD® TECHNOLOGIE	18
1.3.4	RPELA	21
1.4	USAGE DES EPIS A LA REUNION	24
1.5	APPROCHE THEORIQUE	26
1.5.1	Considérations générales	26
1.5.2	Calcul d'un champ électrique	26
1.6	METHODOLOGIE EXPERIMENTALE	29
1.6.1	Bassin	29
1.6.2	Système de positionnement	30
1.6.3	Electrode de mesure	31
1.6.4	Mesure et acquisition	32
1.6.5	Evolution du protocole et optimisation de la mesure	32
1.6.6	Limites de la méthode expérimentale	33
2	ANALYSE DES RESULTATS	34
<hr/>		
2.1	E-SHARK FORCE	34
2.1.1	Description temporelle du signal	34
2.1.2	Caractéristique des impulsions	36
2.1.3	Mesure spatiale du champ électrique	37
2.2	NOSHARK	39
2.2.1	Description temporelle du signal	39
2.2.2	Caractéristique des impulsions	40
2.2.3	Mesure spatiale du champ électrique	41

2.3	OCEAN GUARDIAN – FREEDOM + SURF	43
2.3.1	Description temporelle du signal	43
2.3.2	Caractéristique des impulsions	43
2.3.3	Mesure spatiale du champ électrique	44
2.4	RPELA	46
2.4.1	Description temporelle du signal	46
2.4.2	Caractéristique des impulsions	47
2.4.3	Mesure spatiale du champ électrique	48
3	ANALYSE COMPARATIVE DES EPI	51
<hr/>		
3.1	COMPARAISON SPATIALE	51
3.2	COMPARAISON TEMPORELLE	53
3.3	DISCUSSION	54
<hr/>		
4	SYNTHESE	56

LISTE DES FIGURES

Figure 1 :	NoShark – Version surf (gauche) et plongeur (droite)	16
Figure 2 :	Electrodes du NoShark	17
Figure 3 :	FREEDOM7 de Ocean Guardian	18
Figure 4 :	SCUBA7 de OceanGuardian	19
Figure 5 :	FREEDOM+SURF de Ocean Guardian. Boitier de puissance (gauche); électrode arrière (centre); électrode avant (droite)	20
Figure 6 :	Système Rpela	22
Figure 7 :	Boitier du Rpela version 2 – Gauche : boitier de puissance avec électrode en aluminium sur sa partie droite de la photo – Droite : autocollant additionnel de l'électrode avant	23
Figure 8 :	Evolution de l'usage des EPI à La Réunion sur la période 2007-2017 auprès des usagers ayant répondu au questionnaire	24
Figure 9 :	Répartition des EPI à La Réunion en 2017 auprès des usagers ayant répondu au questionnaire	25
Figure 10 :	Décomposition du vecteur du champ électrique dans l'espace environnant l'appareil	27
Figure 11 :	Forme générale d'un champ électrique généré par un dipole – Ci- dessus : electrodes espacées de 1m (vue en plan et 3D) – Ci-dessous : electrodes espacées de 0.25m (vue en plan et 3D)	28
Figure 12 :	Bassin expérimental du CRA pour les tests des EPI (Bassin ; PC/oscilloscope ; Electrodes de mesure)	30
Figure 13 :	Système de positionnement polaire dans le bassin d'essai du CRA	31
Figure 14 :	Apperçu général du cycle d'émission périodique du E-SHARKFORCE – Courbe rose : signal du champ électrique mesuré entre les deux électrodes de la platine (signaux jaunes et verts)	34
Figure 15 :	Sequence des 20 impulsions du ESF d'intensité alternative et décroissante (en valeur absolue)	35
Figure 16 :	Forme d'une impulsion du ESF – Courbe rose : signal du champ électrique mesuré entre les deux électrodes de la platine (signaux jaunes et verts)	36
Figure 17 :	Champ électrique mesuré du E-SHARKFORCE	37
Figure 18 :	Représentation 3D champ électrique mesuré sur le E-SHARKFORCE dans le plan horizontal – Point noirs : points de mesure réalisés.	38
Figure 19 :	Sequence des 17 impulsions du NoShark d'intensité alternative et décroissante (en valeur absolue)	39
Figure 20 :	Forme d'une impulsion du NoShark – Courbe rose : signal du champ électrique mesuré entre les deux électrodes de la platine (signaux jaunes et verts)	40
Figure 21 :	Champ électrique mesuré du E-SHARKFORCE	41

Figure 22 :	Représentation 3D champ électrique mesuré sur le NoShark dans le plan horizontal – Point noirs : points de mesure réalisés.	42
Figure 23 :	Apperçu général du cycle d’émission périodique du SHARKSHIELD – FREEDOM + SURF – Courbe rose : signal du champ électrique mesuré entre les deux électrodes de la platine (signaux jaunes et verts)	43
Figure 24 :	Forme d’une impulsion du SHARKSHIELD – FREEDOM + SURF – Courbe rose : signal du champ électrique mesuré entre les deux électrodes de la platine (signaux jaunes et verts)	44
Figure 25 :	Champ électrique mesuré du E-SHARKFORCE	45
Figure 26 :	Représentation 3D champ électrique mesuré sur le NoShark dans le plan horizontal – Point noirs : points de mesure réalisés.	45
Figure 27 :	Apperçu général du cycle d’émission périodique du RPELA_V2 – Courbe rose : signal du champ électrique mesuré entre les deux électrodes de la platine (signaux jaunes et verts)	46
Figure 28 :	Forme d’une impulsion du RPELA_V1 – Courbe rose : signal du champ électrique mesuré entre les deux électrodes de la platine (signaux jaunes et verts)	47
Figure 29 :	Forme d’une impulsion du RPELA_V2 – Courbe rose : signal du champ électrique mesuré entre les deux électrodes de la platine (signaux jaunes et verts)	48
Figure 30 :	Champ électrique mesuré du RPELA Version 1 (RPELA) et Version 2 (RPELA_V2)	49
Figure 31 :	Représentation 3D champ électrique mesuré sur le RPELA_V1 dans le plan horizontal – Point noirs : points de mesure réalisés.	49
Figure 32 :	Représentation 3D champ électrique mesuré sur le RPELA_V2 dans le plan horizontal – Point noirs : points de mesure réalisés.	50
Figure 33 :	Comparaison de l’intensité du champ électrique de différents EPI perpendiculairement et dans l’axe des électrodes (cad de la planche pour RPELA et SHARKSHIELD) – Courbe moyenne (trait de couleur) et plage d’incertitude des résultats (surfaces colorées)	52
Figure 34 :	Evolution temporelle du champ électrique de plusieurs EPI à 1m de distance du centre des électrodes - $\theta=90^\circ$	53

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Synthèse des études scientifiques indépendantes réalisées sur l'évaluation des EPI à champ électrique pulsé	14
Tableau 2 : Produits E-SharkForce commercialisés	15
Tableau 3 : Détail des caractéristiques des 20 impulsions du ESF	35
Tableau 4 : Détail des caractéristiques des 17 impulsions du NoShark	40

1 CONTEXTE ET DEMARCHE EXPERIMENTALE



1.1 CONTEXTE DE LA DEMARCHE

La présente étude correspond à la phase 2 du projet d'étude sur l'efficacité des EPI (Equipements de Protection Individuels) pour la répulsion des requins en mer. Ce projet a été validé par les administrateurs du Centre de Ressources et d'Appui pour la réduction du risque requin (CRA) en septembre 2017.

Il se déroule en trois phases :

PHASE 1 : ETAT DE L'ART

■ OBJECTIFS :

- Informer les usagers de la mer porteurs d'EPI pour éviter des pratiques dangereuses ;
- Partage d'expérience avec les usagers.

■ MOYENS :

- Listing des systèmes existants ;
- Recherches bibliographiques : sens/perceptions/prédation chez les requins ;
- Etat de l'art sur l'analyse de l'efficacité des EPI (études indépendantes) ;
- Restitution aux usagers : réunions publiques + site web (diffusion documentaire).

■ ETAT D'AVANCEMENT :

Un état de l'art sur l'efficacité des EPI a été réalisé et restitué auprès des usagers de la mer, après validation de son contenu par la Commission de Sécurité des activités Nautiques du CRA le 20 novembre 2017. Trois réunions publiques se sont déroulées à St Leu, St Gilles et St Pierre pour restituer cet état de l'art aux usagers de la mer. Ces réunions ont permis de rencontrer 70 personnes. Des opérations de communication ont eu lieu avec articles de presse dans le JIR, le Quotidien, ainsi qu'une interview Radio (RTL) et un reportage diffusé sur Antenne Réunion.

Les ateliers ont permis de distribuer un questionnaire à destination des usagers afin de faire remonter les connaissances de terrain. Ces éléments ont été transmis aux chercheurs de l'Université de La Réunion pour analyse.

Le chapitre 1.2 du présent rapport propose une restitution synthétique de cet état de l'art sur l'efficacité des EPI.

PHASE 2 : TESTS DES EPI SUR BANC D'ESSAI

■ OBJECTIFS :

- Analyse comparative de la taille du champ électrique entre plusieurs dispositifs

■ MOYENS :

- Construction d'un banc d'essai : Bassin + dispositifs + appareillage Oscilloscope / Multimètre ;
- Mesure du champ électrique en bassin ;
- Partenariat technique avec les élèves de terminale scientifique du lycée Bois d'Olive.

Le présent rapport est une restitution du travail réalisé lors de la phase 2 du projet.

PHASE 3 : TESTS COMPLEMENTAIRES IN SITU

Le contenu et les objectifs de la phase 3 du projet sont discutés en conclusion du présent rapport, prenant en compte les résultats obtenus.

■ OBJECTIFS :

- Mise en place d'un banc d'essai en mer et d'un service de vérification de l'efficacité des EPI pour les usagers de la mer ;
- Réaliser des tests in situ de certains EPI sur les requins bouledogue, espèce majoritairement responsable des attaques à La Réunion.

■ MOYENS :

- Fabrication d'un banc d'essai ;
- Collaboration internationale (Australienne / Sud-Africaine) ;
- Tests et protocole à adapter dans les conditions réunionnaises.

1.2 SYNTHÈSE DE L'ÉTAT DE L'ART DES CONNAISSANCES SUR L'EFFICACITÉ DES EPI

1.2.1 Considérations générales

Lorsqu'on cherche des informations sur l'efficacité des équipements commercialisés, il est très facile de trouver des témoignages d'utilisateurs testeurs filmant en milieu naturel, et en présence de requins d'espèces diverses, l'effet protecteur ou non de ces appareils. Ces témoignages restent des informations isolées ne permettant pas de conclure dans un sens ou un autre sur l'efficacité de ces dispositifs.

Afin de pouvoir amener des informations consolidées, il est important de compiler de nombreuses expérimentations dont le protocole est maîtrisé et corrigé de biais éventuels. Les données ainsi collectées peuvent être traitées selon des méthodes statistiques permettant alors de donner, ou non, des tendances sur l'effet répulsif de chaque appareil. C'est sur ce principe que les études scientifiques se reposent afin de consolider leurs conclusions. Pour cette raison, l'état de l'art restitué dans ce document s'est appuyé principalement sur les études scientifiques connues au moment de sa rédaction.

Avant d'entrer dans le détail de la restitution de ces études, il convient de noter qu'à ce jour, aucune attaque de requin dans le monde ne s'est produite sur une personne équipée d'un EPI utilisant le principe du champ électrique pulsé dans l'eau. Pour autant, compte tenu du fait que les attaques de requin restent des événements relativement rares, et que le nombre de personnes équipées d'EPI dans le monde reste également limité et inconnu, il n'est pas possible de s'appuyer sur ce résultat pour conclure à un effet protecteur de ces appareils.

On pourra toutefois noter qu'en décembre 2016, une attaque de requin s'est produite auprès d'une personne équipée d'un dispositif SharkBanz¹. On peut rappeler ici que ce bracelet s'appuie sur le principe d'un champ électrique statique (non pulsé), différent des EPI testés dans le cadre de cette étude. Les circonstances particulières de l'attaque pourraient peut-être expliquer l'accident malgré le port de l'EPI par l'utilisateur.

On peut noter par ailleurs, qu'aucun des promoteurs de ces équipements n'affirme une protection absolue contre les attaques de requin. Ils indiquent tout au plus une réduction plus ou moins significative du risque encouru.

¹ <https://surf-me.com/se-attaquer-requin-bracelet-anti-requin/>

1.2.2 Synthèse de l'état de l'art

Lors de la première revue d'état de l'art réalisée fin 2017 (phase 1 du projet), seules 3 publications scientifiques indépendantes avaient été recensées sur des appareils disponibles sur le marché, et basés sur un principe de répulsion par création d'un champ électrique pulsé.

En 2018, une publication supplémentaire et une étude d'un bureau privé sont venues compléter ces documents. En mars 2019, une dernière publication est venue compléter cet état de l'art. C'est donc logiquement sur ces publications et études que s'appuiera le présent rapport.

Une synthèse de ces différentes études est proposée dans le Tableau 1 page suivante. Les publications scientifiques complètes sont disponibles en annexe de ce rapport.

Le principe retenu pour réaliser toutes ces expérimentations consiste à stimuler un comportement alimentaire chez le requin à l'aide d'un appât ou d'un stimulus olfactif, et de quantifier dans quelle mesure la présence d'un EPI allumé à proximité peut permettre d'enrayer ce comportement et de diminuer ainsi le nombre d'interactions du requin avec cet appât ou ce stimulus.

En résumé, les éléments bibliographiques semblent indiquer que le SharkShield FREEDOM démontre une réelle efficacité sur le requin blanc. Même si l'appareil n'est pas efficace à 100%, la probabilité de morsure de l'appât passe de 81% à 11% appareil activé à proximité (Kempster et al, 2016).

Cette activation diminue aussi, le temps de présence des requins tout en augmentant la distance limite de répulsion. **Les études indiquent par ailleurs que même si l'effet répulsif est démontré, la distance de répulsion reste faible : environ 80cm.**

En 2018, pour la première fois, une étude (Huveneers 2018), permis de comparer et tester plusieurs appareils du marché dans des conditions identiques et contrôlées (notamment les appareils SharkShield FREEDOM + SURF et RPELA-V1). Cette étude a permis de confirmer l'effet répulsif du SharkShield dans sa version FREEDOM+ SURF adaptée aux surfeurs.

En revanche, cette étude indique que la présence d'un RPELA-V1 activé n'a aucun effet significatif sur le nombre d'interactions et de morsures de l'appât par rapport à un RPELA-V1 éteint. Cette information est importante à intégrer pour les détenteurs de cet appareil à La Réunion.

En fin d'année 2018, la société RPELA a lancé une nouvelle version de son EPI (**appelé ici le RPELA-V2**), et a mandaté un bureau d'étude privé pour l'évaluer.

Cette étude, sortie en décembre 2018, semble démontrer cette fois la présence d'un effet mesurable et quantifiable de la diminution du nombre d'interactions en présence de l'appareil activé (la probabilité de morsure passant de 75% à 25%, appareil activé).

En mars 2019, une publication scientifique (Egeberg CA, Kempster RM, Hart NS, Ryan L, Chapuis L, Kerr CC, et al. (2019)) relate les résultats de tests réalisés du dispositif ESDS (Electronic Shark Defense System) sur le grand requin blanc.

Les résultats semblent indiquer une efficacité limitée de l'appareil : une distance de répulsion très faible (inférieure à 15.5cm), diminuant mais n'empêchant pas, à cette distance, le nombre de morsures, sans pouvoir non plus diminuer le nombre d'interaction total (regroupant une morsure ou un contact physique).

Il convient de noter que cet appareil ne semble plus commercialisé à l'heure actuelle, et a été remplacé par l'appareil NoShark, et dont les caractéristiques techniques ont visiblement évoluées.

1.2.3 Utilisation des EPI à champ électrique pulsé comme politique publique de réduction du risque

A ce jour dans le monde, la seule mesure connue issue d'une politique publique s'appuyant sur les équipements individuels à champ électrique pulsé provient de l'état du Western Australia.

En effet, depuis 2017, fort du constat d'une efficacité démontrée de façon scientifique et indépendante sur les appareils Ocean Guardian SharkShield (FREEDOM + SURF et FREEDOM), l'Etat du Western Australia a pris la décision politique de subventionner, à titre individuel, l'achat de ces appareils à hauteur de 176€/personne pour les habitants de son Etat (200 US\$).

Il s'agit d'une stratégie qui leur permet d'agir sur la réduction du risque requin au niveau de tous les pratiquants équipés, et sur l'ensemble du littoral de l'Etat.



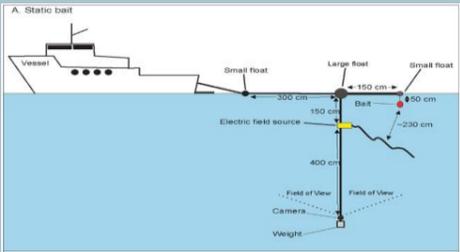
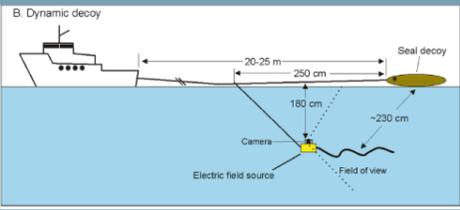
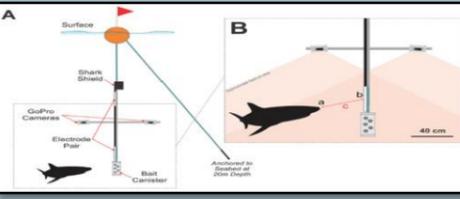
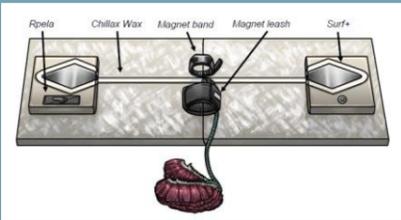
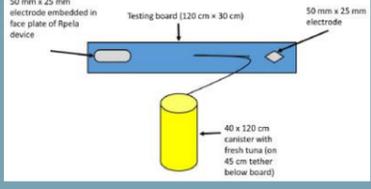
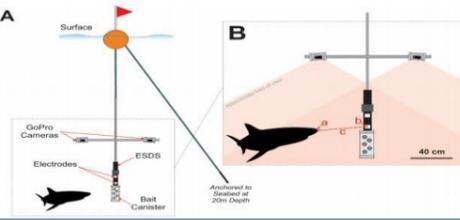
AUTEURS	SITE	ESPECE DE REQUIN	TYPE DE TEST	PROTOCOLE	CONDITIONS DE TESTS	DISTANCE APPAT/REPU LSIF	% DE MORSURE D'APPAT (NB) (EPI OFF) CONTROL	% DE MORSURE D'APPAT (NB) (EPI ON) ACTIF	CONCLUSION / REMARQUES
PEDDEMORS ET SMITH 2003	Afrique du Sud	Requin blanc <i>Carcharodon carcharias</i>	Appât statique	Appât statique attaché au centre du SharkPod Le tout fixé à une bouée	98 essais (19 min)	0 m (milieu)	85% (au bout de 5min) 97% (au bout de 10min)	0 % (5 et 10min)	
HUVENEERS ET AL 2013	Australie Neptune Island Group (Australie du Sud)	Requin blanc <i>Carcharodon carcharias</i>	Appât statique		116 essais (15 min) 49 avec SS OFF 67 avec SS ON 314 approches 527 interactions avec 18 requins blancs	2.3m	Morsure de l'appât dans 77,6% des essais (38/49)	Morsure de l'appât dans 79,1% des essais (53/67)	Résultats très incertains et contraire à ceux attendus
HUVENEERS ET AL 2013	Afrique du Sud Seal Island, False Bay, Le Cap	Requin blanc <i>Carcharodon carcharias</i>	Leurre de phoque remorqué		190 essais (15 min) 98 avec SS OFF 91 avec SS ON 314 approches 61 interactions	2.3m	Morsure de l'appât dans 16% des essais (16/98)	Aucune morsure d'appât lors des essais (0/91)	Hypothèse : Coût énergétique très fort -> dissuasion + facile si risque d'échec
KEMPSTER ET AL 2016	Afrique du Sud Seal Island, Mossel Bay	Requin blanc <i>Carcharodon carcharias</i>	Appât statique		4 sites simultanés : 2 actifs, 2 non actifs (300m de distance) 90 minutes d'enr. / session 4 jours d'expérimentation -> 44 sessions enregistrées (dont 22 inactifs) Observation par caméras stéréoscopiques	~0.2m	Morsure de l'appât pour 81% des requins (26/32) Temps présence : 1 min 42s Distance moyenne d'approche : 24cm	Morsure de l'appât pour 11% des requins (1/9) Temps présence : 58 s Distance moyenne d'approche : 81cm	Si répulsion, distance de répulsion mesurée entre 0.2 et 1m Effet d'habituation mesuré
HUVENEERS ET AL 2018	Australie	Requin blanc <i>Carcharodon carcharias</i>	Appât statique		6 appareils testés 5 déplacements sur site Appâts : thon (2kg) 300 essais réalisés (50 par appareil) - 15 min chacun Observation depuis bateau + caméras stéréoscopiques	0.3m sous la planche	% morsure de l'appât/planche : 96% des requins (48/50)	% morsure de l'appât/planche : SharkShield : 38% des requins (19/50) RPELA-V1 : 89% des requins (44/59)	Efficacité du SharkShield Surf + confirmée Effet du RPELA-V1 non détectable
CARDNO 2018	Salisbury Western Australia	Requin blanc <i>Carcharodon carcharias</i>	Appât statique		Tests du RPELA V2 21 tests appareil actif 27 tests appareil inactif 15 min pour chaque test	0.45m sous la planche	% d'interaction de l'appât/planche : 80% des requins % morsure de l'appât/planche : 75% des requins	% d'interaction de l'appât/planche : 50% des requins % morsure de l'appât/planche : 25% des requins	Distance d'interaction des requins indéterminée Diminution des interactions et des morsures.
Egeberg CA, Kempster RM, Hart NS, Ryan L, Chapuis L, Kerr CC, et al. (2019)	Afrique du Sud Seal Island, Mossel Bay	Requin blanc <i>Carcharodon carcharias</i>	Appât statique		ESDS testé Tests de 90min 17 essais appareil actifs 17 essais appareil inactif 51 heures de vidéo 395 visites de 44 requins différents	0.15m	% d'interaction de l'appât/planche : 96% des requins % morsure de l'appât/planche : 87% des requins Distance moyenne d'approche : 24cm	% d'interaction de l'appât/planche : 86% des requins % morsure de l'appât/planche : 52% des requins Distance moyenne d'approche : 23cm	Distance d'approche faible et non modifiée par appareil actif % d'interaction non modifiée % de morsure diminuée

Tableau 1 : Synthèse des études scientifiques indépendantes réalisées sur l'évaluation des EPI à champ électrique pulsé

1.3 APPAREILS TESTES

Quatre appareils mettant en œuvre un champ électrique pulsé sous l'eau ont fait l'objet d'une évaluation en bassin d'essai dans les locaux du CRA :

- Le ESharkForce
- Le NoShark
- Le Ocean Guardian SharkShield FREEDOM + SURF (qui sera appelé SharkShield par commodité par la suite)
- Le Rpela dans deux versions distinctes : V1 et V2 (cette dernière étant disponible depuis début 2019)

1.3.1 ESharkForce

Le E-Shark Force est le dernier modèle du dispositif électronique de répulsion que Monsieur Wilson Vinano a inventé à Hawaii en 2005. E-Shark Force est destiné aux plongeurs, surfeurs, nageurs et Stand Up Paddlers.

Site internet : <http://www.e-sharkforce.com/>

Le CRA a échangé avec Monsieur Wilson Vinano (CEO et Président) et Madame Amanda Toy (Directrice des opérations) en mai 2017 via un entretien Skype. La société a envoyé 8 E-Shark Force Units à la Réunion pour les tests de répulsion si validé et entrepris par le CRA.

■ PLUSIEURS MODELES SONT COMMERCIALISES :

MODELE	PHOTO	PRIX (SITE WEB)
E-Shark Force Dive unit:		325 € (365 US\$)
E-Shark Force PaddleBoard unit		325 € (365 US\$)

Tableau 2 : produits E-SharkForce commercialisés

Aucune information n'a été trouvée, ni sur leur site web, ni dans la bibliographie scientifique, concernant la structure et l'intensité du champ électrique généré par ces appareils.

Le boîtier E-SharkForce est fermée par une plaque étanche boulonnée. Le chargement de la batterie s'effectue par induction à l'aide d'une plateforme circulaire sur laquelle est posé l'appareil, ce qui permet d'éviter les problèmes d'étanchéité.

Plus particulièrement, le E-SharkForce « Swim unit » présente deux électrodes de forme carrée espacées l'une de l'autre de 13cm. La surface de chacune des électrodes est de 6.8cm².

Le E-SharkForce « Paddle unit » présente lui deux électrodes de forme rectangulaire, espacées l'une de l'autre de 25.5cm. La surface de chacune des électrodes est de 19.8cm².

Les surfeurs et bodyboarder ont donc le choix d'utiliser le « Swim unit » en bracelet à la cheville ou au poignet, ou un « Paddle unit » à la traine de sa planche.

Les électrodes sont réalisées en fil conducteur entortillé sur lui-même et aplati et compacté en forme de parallépipède. Il s'agit peut-être d'un moyen permettant d'augmenter la surface d'échange du conducteur avec le milieu.

Dans le cadre de la présente étude, c'est le E-SharkForce modèle « Swim unit » qui a fait l'objet des tests, mais l'utilisateur à le choix d'un usage à la cheville au poignet, ou à la traine à l'arrière de son surf, son paddleboard.

A notre connaissance, ces appareils sont peu connus et peu utilisés sur l'île de La Réunion.

1.3.2 NO SHARK

Le NoShark est un dispositif de bracelet qui présente deux électrodes insérées dans l'anneau de serrage.

Le produit est vendu en ligne sur le site internet : <http://www.noshark.com/>

Il existe deux versions du NoShark : la première en simple bracelet, la seconde avec un leach permettant de s'attacher à la planche de surf.



Figure 1 : NoShark – Version surf (gauche) et plongeur (droite)

■ SPECIFICATIONS CONSTRUCTEUR

- Profondeur : 45m maximum pour la version surf ou 60m pour la version plongeur ;
- Dimensions du boîtier : approximative 0.067 Largeur X 0.058 Hauteur X 0.029 Epaisseur ;
- Poids : 198g ;
- Batterie : Interne 3.7V Li-ion ;
- Chargeur : 5 VDC, 1.0 Amp ;
- Temps de chargement : Environ 7 heures (batterie neuve, évolue dans le temps) ;
- Autonomie : Approx. 6 1/2 heures (dans l'eau) ;
- Sortie : 120V to 200V. Forme d'onde pulsée propriétaire ;
- Electrodes : 2 électrodes, chacune de 2.7mmX 2.7mm en acier inoxydable ;
- Un Leash (version surf) ;
- Un anneau de néoprène (Optionnel pour utilisateurs sans combinaison).

Le NoShark présente deux électrodes de forme carrée, espacées l'une de l'autre de 12cm. La surface de chacune des électrodes est de 7.29cm².

Le boîtier est en plastique et scellé. Un fil électrique sort du boîtier et permet s'assurer la connexion du dispositif avec la batterie interne (via un autre fil pénétrant dans le boîtier) ou le chargeur externe.

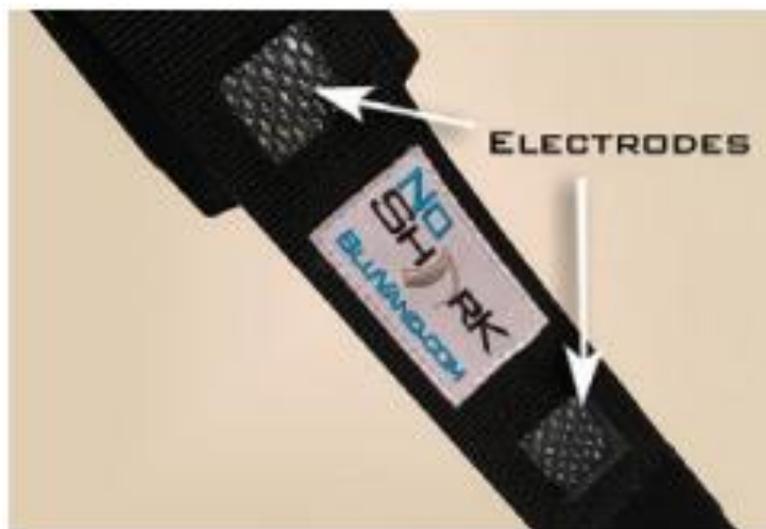


Figure 2 : Electrodes du NoShark

■ PRIX DE VENTE

Le produit est vendu 356 € (399 US\$) sur le site internet, hors frais de port, dans sa version « plongée » (dive version) et 400 € (449 US\$) dans sa version « surf » (avec leash intégré). Les deux modèles se différencient par leur profondeur limite d'immersion.

1.3.3 OCEAN GUARDIAN SHARKSHIELD®TECHNOLOGIE

L'entreprise OCEAN GUARDIAN commercialise une gamme de produits de répulsion électrique avec des modèles conçus pour la plongée, la natation et le surf.

Le premier dispositif a été créé sous le nom de SharkPod en 1990 par le Kwazulu Natal Sharks Board (KZNSB) en Afrique du Sud puis a été développé par une compagnie australienne SeaChange Technology et commercialisé par la société Shark Shield en octobre 2006, devenue la société Ocean Guardian aujourd'hui.

Les appareils commercialisés s'appuient sur la technologie SharkShield.

La société commercialise ses produits sur le site internet suivant : <https://sharkshield.com/>

Trois appareils sont commercialisés :

- **1.3.3.1 FREEDOM7**

Le FREEDOM7 est un dispositif conçu pour le plongeur scaphandrier, l'apnéiste ou le chasseur sous-marin.

Il s'agit d'un bracelet de cheville sur lequel est connecté une antenne de 2.2m. Le boîtier de puissance alimenté par une batterie de génération lithium est situé dans le bracelet de cheville alors que l'antenne contient les deux électrodes à chacune de ses extrémités.

Lors de sa sortie en 2006, ce dispositif a été utilisé par certains surfeurs, notamment à La Réunion (certains utilisant même une version antérieure : le Freedom 4). Leurs témoignages indiquent que le poids du système de puissance (surtout pour le Freedom 4 équipé de batteries plus lourdes), ainsi que la présence de l'antenne, gênaient considérablement leur pratique.



Figure 3 : FREEDOM7 de Ocean Guardian

Aujourd'hui une version spéciale surf a aussi été mise au point.

■ SPECIFICATIONS CONSTRUCTEUR

- Nombre de cycle nominal de charge de batterie : 1000 charges ;
- Température de stockage : 0°C - 60°C ;
- Température d'utilisation entre 12°C - 40°C. Une température plus basse réduit la durée d'utilisation des batteries ;
- Dimensions de l'unité (sans l'antenne) : 80mm L x 140mm W x 35mm H ;
- Profondeur maximale d'utilisation : 50m ;
- Poids de l'unité : 335g ;
- Poids (complet) : 950g ;
- Poids dans l'eau (complet): 69g ;
- Durée de fonctionnement batteries : 5 à 6 heures (selon température) ;
- Intensité du champ électromagnétique annoncé : supérieur à 1v/m à 1m du centre des électrodes.

■ PRIX DE VENTE

L'appareil est vendu 394 € (449 US\$) sur le site internet, hors frais de port.

Une subvention de 176 € (200 US\$) est accordée par l'Etat du Western Australia pour ses citoyens résidents.

● 1.3.3.2 SCUBA 7

Le SCUBA7 est destiné aux militaires, aux plongeurs scientifiques ou aux plongeurs de loisir. Le principe consiste à fixer une électrode sur la bouteille du scaphandre, une autre à l'extrémité d'une antenne flexible fixée sur le mollet du plongeur, tandis que le module de puissance se situe au niveau de la hanche du plongeur. Le champ électrique est généré par les deux électrodes.



Figure 4 : SCUBA7 de OceanGuardian

■ SPECIFICATIONS CONSTRUCTEUR

- Température de stockage : 0°C - 60°C ;
- Température d'utilisation entre 12°C - 40°C. Une température plus basse réduit la durée d'utilisation des batteries ;
- Dimensions de l'unité (sans l'antenne) : 80mm L x 140mm W x 35mm H ;
- Profondeur maximale d'utilisation : 50m ;
- Poids de l'unité : 335g ;
- Poids (complet) : 950g ;
- Poids dans l'eau (complet) : 69g ;
- Durée de fonctionnement batteries : 5 à 6 heures (selon température) ;
- Intensité du champ électromagnétique annoncé : supérieur à 1v/m à 1m du centre des électrodes.

■ PRIX DE VENTE

L'appareil est vendu 525 € (599 US\$) sur le site internet du fabricant, hors frais de port.

● 1.3.3.3 FREEDOM + surf

Le FREEDOM+SURF est la version surf du dispositif. Le boîtier de puissance est fixé sur le dessus de la planche, en forme de talonnette sous le pad arrière du surf. Les électrodes se présentent sous la forme d'autocollants intégrant des couches conductrices qui permettent d'acheminer le courant jusqu'aux deux électrodes positionnées sous la planche de surf, à l'avant et à l'arrière.

Le dispositif peut s'installer sur n'importe quelle planche de surf, en modifiant légèrement le pad arrière (redécoupe) et en collant les éléments (boîtiers + électrodes). Un kit permettant d'équiper une deuxième planche est également commercialisé. Le boîtier de puissance peut ainsi être utilisé sur l'une ou l'autre des planches équipées.



Figure 5 : FREEDOM+SURF de Ocean Guardian. Boîtier de puissance (gauche) ; électrode arrière (centre) ; électrode avant (droite)

■ SPECIFICATIONS CONSTRUCTEUR

- Nombre de cycle nominal de charge de batterie : 1000 charges ;
- Température de stockage : 0°C - 60°C ;
- Température d'utilisation entre 12°C - 40°C. Une température plus basse réduit la durée d'utilisation des batteries ;
- Dimensions de l'unité (sans l'antenne) : 208mm L x 28mm W x 63mm H ;
- Profondeur maximale d'utilisation : 50m ;
- Poids de l'unité : 250 g (boîtier) + 225g (antenne et support) ;
- Durée de fonctionnement batteries : 5 à 6 heures (selon température) ;
- Intensité du champ électromagnétique annoncé : supérieur à 1v/m à 1m du centre des électrodes.

■ PRIX DE VENTE

L'appareil est vendu 438 € (499 US\$) hors frais de port sur le site internet du fabricant.

Une subvention de 176 € (200 US\$) est accordée par l'Etat du Western Australia pour ses citoyens résidents. Le kit d'équipement d'une seconde planche est vendu 106 € (169 US\$).

1.3.4 RPELA

Le Rpela, anciennement appelé Surf Safe, est un système positionné sous la planche de surf. Le boîtier de puissance se positionne dans un insert incrusté dans la carène du surf, à l'arrière. Il fait également office d'électrode. La deuxième électrode est positionnée elle aussi sous la carène, mais à l'avant du surf. Un fil conducteur relie l'électrode avant et le boîtier arrière.

Le produit est commercialisé sur le site internet : <https://www.rpela.com/>

Pour être installé, ce système requiert l'intervention d'un shaper, ou d'un minimum de savoir-faire afin de modifier la planche pour :

- Installer l'insert du boîtier de puissance ;
- Installer l'électrode sous la carène à l'avant du surf ;
- Installer le fil conducteur entre le boîtier et l'électrode avant.

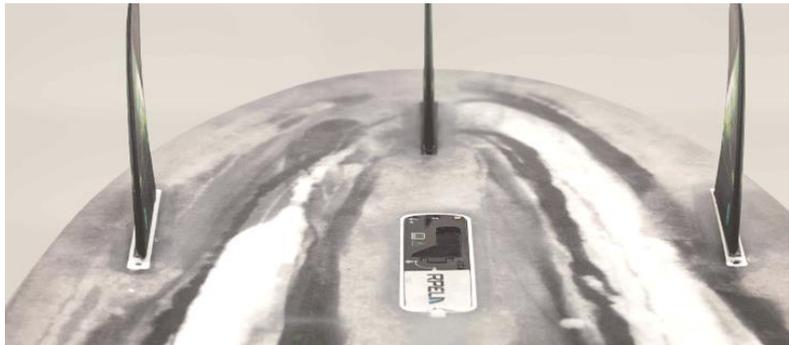


Figure 6 : Système Rpela

Une fois ces éléments installés sur la planche, le boîtier de puissance RPELA peut être installé et enlevé facilement et manuellement, grâce à un système de goupille.

Il peut ainsi être enlevé en fin d'utilisation pour l'entretien du dispositif et pour recharger la batterie.

A noter qu'un kit permet d'équiper une deuxième planche de surf, les deux planches pouvant alors être utilisées avec le même appareil, au choix de l'utilisateur.

Depuis décembre 2018, une nouvelle version du RPELA est commercialisée : RPELA version 2.

Celle-ci présente les améliorations suivantes par rapport à la version précédente :

- Electrode du boîtier réalisée en aluminium et sensiblement élargie ;
- Autocollant additionnel permettant d'étendre la surface de l'électrode avant ;
- La fréquence et la durée des impulsions électriques ont également été modifiées d'après le constructeur.



Figure 7 : Boitier du Rpela version 2 – Haut : boitier de puissance avec électrode en aluminium sur sa partie droite de la photo – Bas : autocollant additionnel de l'électrode avant

■ SPECIFICATIONS CONSTRUCTEUR

- Longueur : 147mm / largeur : 36mm hauteur : 19mm ;
- Poids 155g ;
- Capacité de la batterie : 1800mA ;
- Temps de charge : 3.5h ;
- Autonomie : 6.5h ;
- Voltage : 200V ;
- Fréquence : 9.5Hz ;
- Poids de l'insert Rpela : 56g.

■ PRIX DE VENTE

L'appareil est vendu 314 € (499 AU\$) sur le site internet du fabricant, hors frais de port.

Le kit d'équipement d'une deuxième planche est vendu 35 € (55 AU\$).

L'installation réalisée par un shaper coûte entre 100 et 150 €.

1.4 Usage des EPIS à la Réunion

Lors des réunions publiques organisées à Saint-Leu, Saint-Gilles et Saint-Pierre (cf chapitre 1.1), des questionnaires ont été distribués aux pratiquants et usagers de la mer afin de mieux connaître leurs modes de pratique, comprendre et quantifier les évènements d'interactions usagers/requins, de recueillir leurs opinions sur la gestion du risque requin, et mieux connaître le niveau d'usage des EPI dans le contexte réunionnais. Ces questionnaires ont également été diffusés par mail et via les réseaux sociaux à la communauté des usagers de la mer. La diffusion, la collecte, le traitement, et d'analyse des données s'est réalisé en partenariat entre le CRA et l'UMR Espace DEV - Université de la Réunion (E. Lagabriele), qui a largement œuvré au traitement et à l'analyse des données. Les résultats complets de ces analyses feront l'objet d'une publication dédiée.

Sur la partie propre à l'usage des EPI, l'analyse montre que sur les 124 pratiquants réunionnais ayant répondu au questionnaire, 69 personnes pratiquent une activité de vague (56%). Sur ces 69 personnes, 26 utilisent ou ont utilisé un EPI sur la période 2007-2017, soit environ 38% des usagers pratiquant une activité dans les vagues.

L'évolution de l'usage des EPI au cours de la période (cf Figure 8), témoigne concrètement de l'essor de l'usage de ces appareils à partir de l'année 2014. En 2017, sur les 124 personnes interrogées, 22 personnes utilisent des EPI dans leurs activités.

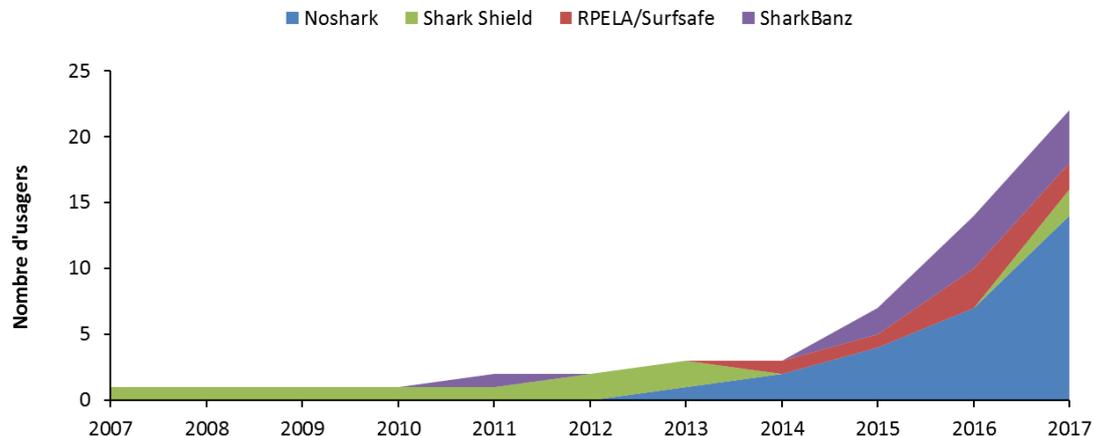


Figure 8 : Evolution de l'usage des EPI à La Réunion sur la période 2007-2017 auprès des usagers ayant répondu au questionnaire

Répartition des EPI utilisés à la Réunion (2017)

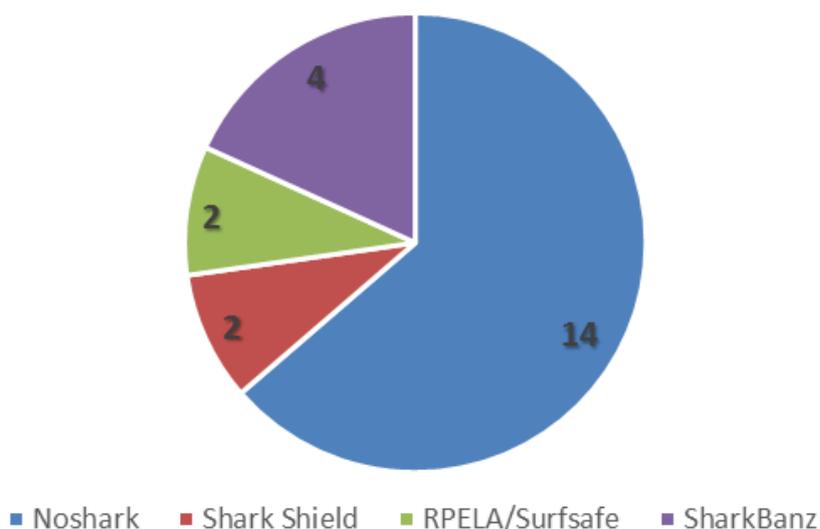


Figure 9 : Répartition des EPI à La Réunion en 2017 auprès des usagers ayant répondu au questionnaire

D'après les informations issues de ces questionnaires, il semble que le produit NoShark a été fortement plébiscité par les pratiquants réunionnais (64 % des personnes équipées en 2017).

Le second appareil semble être le SharkBanz (18% des personnes équipées en 2017).

En dernière position viennent le Rpela et le SharkShield (respectivement 9% et 9% des personnes équipées en 2017).

Il convient toutefois de relativiser ces résultats compte tenu de la taille limitée de l'échantillon (124 pratiquants au total, dont seulement 26 ont utilisé un EPI sur la période 2007-2017).

Ces chiffres restent donc à considérer comme des tendances permettant une première approche de la problématique.

1.5 APPROCHE THEORIQUE

1.5.1 Conditions Générales

Les appareils testés dans le cadre de cette étude utilisent tous le même principe de l'émission d'un champ électrique pulsé.

Le principe de ces appareils consiste à générer un dipôle électrique en s'appuyant sur les deux électrodes.

Lors de chaque impulsion des appareils, chaque électrode va se charger positivement pour l'une et négativement pour l'autre, pendant un temps limité.

Cette différence de polarité constitue alors un dipôle électrique qui crée un champ électrique dans tout l'espace conducteur environnant (l'eau salée).

C'est ce champ électrique qui est perçu par les requins au travers de leurs ampoules de Lorenzini.

L'efficacité de chaque appareil, à savoir la distance de répulsion potentielle d'un requin, va dépendre directement de la taille, la forme, et l'intensité du champ électrique ainsi créé, qui va dépendre directement des paramètres suivants :

- **La taille et la forme de chaque électrode.** On peut voir sur les photos ci-dessus présentées que celles-ci sont très variables sur les différents appareils testés ;
- **La charge de chaque électrode.** L'intensité de la charge va dépendre d'un choix du constructeur : compromis entre la fréquence et la durée des impulsions, leur intensité, et l'autonomie des appareils ;
- **La distance entre chaque électrode.** En fonction de l'écartement des électrodes et de leurs positions dans l'espace, le champ électrique peut être déformé, le volume protégé agrandi dans un axe, et positionné différemment par rapport au pratiquant.

1.5.2 Calcul d'un champ électrique

Le calcul du champ électrique d'un dipôle est connu et découle des lois de l'électromagnétisme.

Le champ électrique créé par une charge électrique s'exprime en fonction de la distance du point de mesure (r), de la conductivité électrique du milieu ($\epsilon_0 \epsilon_r$) et de la charge électrique (q). L'expression du champ électrique s'écrit :

$$\vec{E} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} r^{-2} \vec{U}_r$$

En présence d'un dipôle, c'est-à-dire deux charges de signes opposés (comme c'est le cas pour chaque appareil testé), et positionnées à une distance $2a$ l'une de l'autre, le champ électrique créé peut être décrit par la formulation suivante :

$$\vec{E} = E_r \vec{U}_r + E_\theta \vec{U}_\theta$$

$$E_r = K \left[\frac{r - a \cos \theta}{(a^2 + r^2 - 2ar \cos \theta)^{3/2}} - \frac{r + a \cos \theta}{(a^2 + r^2 + 2ar \cos \theta)^{3/2}} \right]$$

$$E_\theta = K \left[\frac{a \sin \theta}{(a^2 + r^2 - 2ar \cos \theta)^{3/2}} + \frac{a \sin \theta}{(a^2 + r^2 + 2ar \cos \theta)^{3/2}} \right]$$

Avec $K = \frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r}$

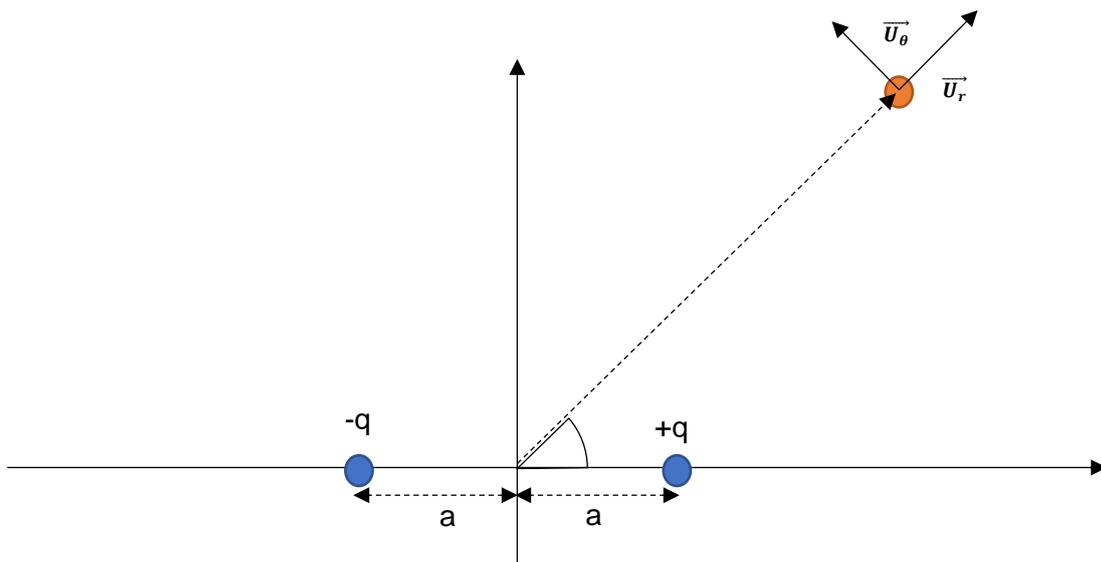


Figure 10 : Décomposition du vecteur du champ électrique dans l'espace environnant l'appareil

Le champ théorique vectoriel du champ électrique peut ainsi être représenté dans un plan passant par les deux électrodes. Deux exemples sont montrés en Figure .

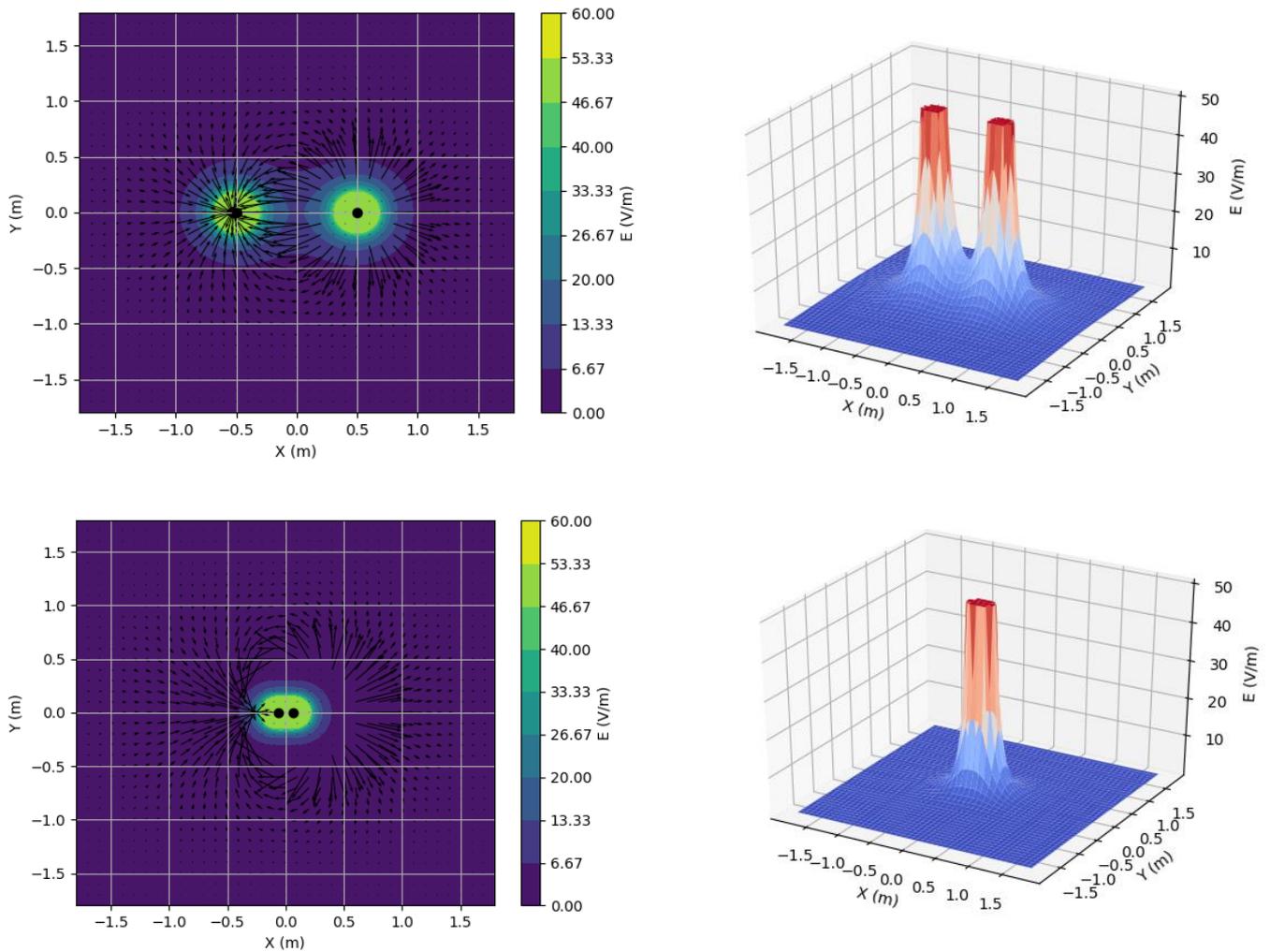


Figure 11 : Forme générale d'un champ électrique généré par un dipôle – Ci-dessus : électrodes espacées de 1 m (vue en plan et 3D) – Ci-dessous : électrodes espacées de 0.25m (vue en plan et 3D)

Chacune des électrodes du dipôle localise un pic d'intensité du champ électrique.

Lorsque la distance entre les deux électrodes est grande, les deux pics sont clairement isolés l'un de l'autre, et le champ électrique présente une forme allongée présentant deux lobes distincts : configuration proche du SharkShield et du RPELA.

Lorsque les deux électrodes sont plus rapprochées, les deux lobes fusionnent partiellement et le champ devient plus symétrique (symétrie radiale) : configuration proche du NoShark et du E-SharkForce.

Les appareils répulsifs testés dans le cadre de cette étude présentent tous un dispositif de dipôle électrique qui émet sous forme d'impulsion un champ électrique dans l'eau. En connaissant la distance entre les électrodes, la conductivité du milieu, et la charge ponctuelle générée par l'appareil, on peut ainsi reconstituer la forme théorique du champ de chaque dispositif.

Cette approche théorique permet une première analyse et une meilleure compréhension de la forme géométrique du champ électrique dans l'espace en faisant l'hypothèse d'un milieu continu, homogène et isotrope. La prise en compte d'un certain nombre de paramètres reste à intégrer dans cette approche théorique afin d'avoir une description totale du champ dans un contexte réel d'utilisation :

- L'effet de la présence de la surface de l'eau à proximité des électrodes ;
- L'effet de la présence de la planche (milieu isolant) à proximité immédiate des électrodes (cas du Rpela et du SharkShield).

1.6 METHODE EXPERIMENTALE

Afin de réaliser ces tests, un banc d'essai expérimental a été fabriqué avec l'appui du lycée technique Bois d'Olive de Saint Pierre à la Réunion.

Ce banc d'essai est constitué :

- D'un bassin rempli d'eau dans lequel les mesures du champ électrique ont été réalisées ;
- D'un système de positionnement ;
- D'un dispositif de mesure du champ électrique (électrodes de mesure + câblage + oscilloscope).

1.6.1 Bassin

Le bassin est une piscine autoportante en PVC circulaire de 4m de diamètre et de 1.20m de hauteur. Le choix s'est porté sur un matériau isolant (PVC) afin de ne pas perturber le champ électrique à proximité du bord du bassin, écartant ainsi toute option de piscine à structure métallique. Ce bassin est placé dans un atelier couvert qui limite les variations de température.





Figure 12 : Bassin expérimental du CRA pour les tests des EPI (Bassin ; PC/oscilloscope ; Electrodes de mesure)

L'eau du bassin provient du réseau d'eau potable. Du sel de piscine a été ajouté afin d'obtenir une eau de même conductivité que l'eau de la mer. Afin de s'assurer de la bonne calibration de la conductivité de l'eau du bassin, des mesures de conductivité sont réalisées à chaque démarrage d'une série de test.

Les mesures de conductivité sont réalisées systématiquement sur :

- un échantillon d'eau du bassin ;
- un échantillon d'eau de mer.

Afin de ne pas perturber la mesure, les deux échantillons sont à la même température : le bidon d'eau de mer est laissé en permanence en flottaison dans le bassin afin d'uniformiser les températures.

La mesure de conductivité est réalisée à partir d'un appareil HANNA (Hanna Instruments™). Avant chaque usage, l'appareil est calibré à l'aide d'une solution de calibrage à 6.44ppm.

1.6.2 Système de positionnement

L'intensité du champ électrique est très variable spatialement, dans les premières dizaines de centimètres autour des dispositifs répulsifs.

Un système de positionnement précis des dispositifs répulsifs et des électrodes de mesure dans le bassin est donc nécessaire pour réaliser des mesures précises et reproductibles.

Le système de positionnement développé se base sur un repère en coordonnées polaires. Le dispositif répulsif est positionné au centre du repère.

La position des électrodes de mesure est repérée par rapport à la distance au centre du repère (le rayon r), et à l'angle d'incidence par rapport aux électrodes de l'EPI (angle θ).



Figure 13 : Système de positionnement polaire dans le bassin d'essai du CRA

1.6.3 Electrode de mesure

Une platine d'électrode de mesure a été utilisée pour mesurer le différentiel de potentiel électrique dans l'eau.

La platine présente 4 électrodes qui fonctionnent par couple :

- 2 électrodes dans l'axe radial \vec{U}_r ;
- 2 électrodes dans l'axe tangentiel \vec{U}_θ .

Pour chaque couple, les électrodes sont espacées de 10cm.

En travaillant sur l'un des deux couples d'électrode au choix, la différence de potentiel peut donc être mesurée sur les deux axes \vec{U}_r et \vec{U}_θ .

Le champ électrique peut ainsi être reconstitué dans le plan horizontal.

Chaque électrode est soudée à un câble coaxial.

Le choix du câble coaxial permet une diminution du bruit par une isolation du champ électrique à l'intérieur de l'âme du câble (principe de cage de Faraday).

Avant démarrage des tests, de nombreuses améliorations ont été portées à la platine d'électrodes, visant la qualité des mesures.

1.6.4 Mesure et acquisition

La mesure et l'acquisition des données se réalise à l'aide de l'oscilloscope Agilent Technologie DSO-X-2002A.

Cet appareil permet un échantillonnage maximal de 2Gsa/s et dispose d'une mémoire de stockage interne de 1Mpts.

La résolution temporelle maximale est donc de l'ordre de la nanoseconde, ce qui est suffisant pour caractériser les impulsions électriques des EPI testés dans le cadre de cette étude dont la largeur varie entre 19 μ s et 1000 μ s.

1.6.5 Evolution du protocole et optimisation de la mesure

Depuis l'initiation du projet, le bassin d'essai s'est amélioré selon le planning suivant :

- **Janvier 2018** : conception et fabrication du système de positionnement par le lycée Bois d'Olive / Installation du bassin dans les locaux du CRA ;
- **Février 2018** : premiers tests et essais de mesure avec 2 électrodes radiales ;
- **Mars - Mai 2018**: première période d'acquisition des données par les élèves du lycée Bois d'Olive ;
- **Mai - Juin 2018** : 1ère chaine de traitement des données mise en place ;
- **Aout 2018** : fabrication d'une platine à 4 électrodes permettant une mesure simultanée des deux composantes du vecteur champ électrique ;
- **Septembre - Octobre 2018** :
 - Remplacement du câblage par des fils coaxiaux afin de diminuer le bruit ;
 - Mise en place d'une procédure de mesure différentielle de potentielle entre deux entrées analogiques distinctes. ;
 - Optimisation du paramétrage de d'oscilloscope pour fiabilisation de la mesure (mode d'acquisition, résolution temporelle d'analyse, export des données).
- **Novembre 2018 -> février 2019** : acquisition finale des données sur les 4 appareils, dont le Rpela version 2.

A l'issue de ce processus d'optimisation, la méthodologie et la technique de mesure du banc d'essai est désormais parfaitement maîtrisée, reproductible et comparable.

1.6.6 Discussion sur la méthode expérimentale

La mesure du champ électrique dans le bassin se heurte à une limite physique qui est propre à la taille limitée du bassin.

Contrairement aux conditions que l'on peut trouver en mer, la propagation du champ électrique dans un milieu confiné peut être déformée en raison de l'hétérogénéité du milieu (interface eau/air) au niveau du pourtour de la piscine ainsi qu'au niveau du fond. Le bassin expérimental comporte donc un biais de mesure par rapport à la réalité du champ électrique qui pourrait être mesuré en pleine mer.

On peut noter également que ces appareils sont généralement utilisés à faible profondeur, parfois dans une eau présentant des courants et chargée en bulles d'air isolantes (zones de déferlement).

En connaissance de cause, le protocole expérimental est mené de telle façon que ce biais soit identique pour tous les appareils : chacun d'entre eux est positionné parfaitement au centre du bassin, de sorte qu'ils soient tous exposés strictement aux mêmes conditions expérimentales.

Ces conditions ont été fixées pour reproduire l'usage typique des appareils sans chercher aucun avantage pour un appareil plutôt qu'un autre.

Dans la phase 3 du projet, il est proposé de réaliser un banc d'essai expérimental déployable directement en mer, afin de mesurer directement le champ électrique dans le milieu marin.



2 ANALYSE DES RESULTATS



2.1 E-SHARK FORCE

2.1.1 Description temporelle du signal

Le E-SharkForce émet un champ électrique suivant une séquence temporelle organisée en « salves d'impulsions ». La périodicité globale du cycle s'étale sur 4.1s. Sur chaque cycle complet, l'appareil émet selon les deux séquences suivantes :

- 1 séquence d'émission 20 impulsions pendant 2.46 s ;
- 1 séquence de repos de 1.64 s.

Au bout de 4.1s, le cycle reprend. La Figure 12 ci-dessous permet de visualiser 3 séquences d'émission de salves consécutives.

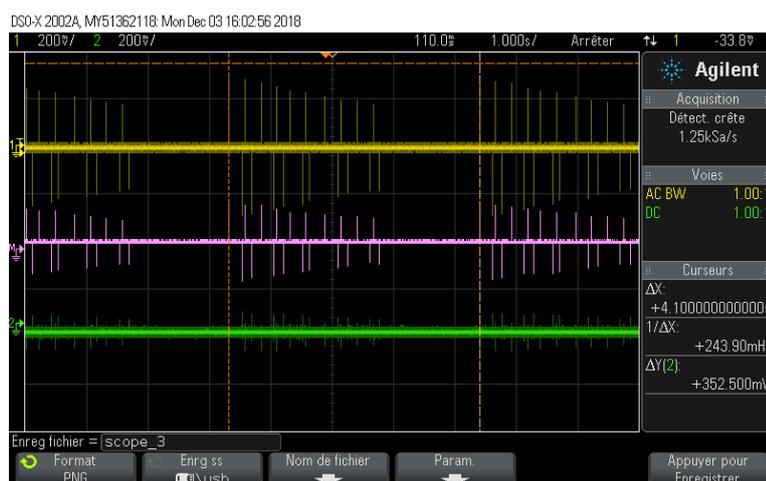


Figure 14 : Aperçu général du cycle d'émission périodique du E-SHARKFORCE – Courbe rose : signal du potentiel électrique mesuré entre les deux électrodes de la platine (signaux jaunes et verts)

Lors de la séquence d'émission, 20 impulsions sont émises avec une polarité alternative (les impulsions sont alternativement positives et négatives). L'intensité des impulsions est décroissante en valeur absolue.



Figure 15 : Sequence des 20 impulsions du E-SHARKFORCE d'intensité alternative et décroissante (en valeur absolue)

Impulsion n°	Temps (s) / première impulsion	Voltage % / première impulsion
1	0.000	100%
2	0.200	-96%
3	0.260	95%
4	0.366	-92%
5	0.522	85%
6	0.728	-86%
7	0.782	80%
8	0.888	-82%
9	0.990	80%
10	1.200	-77%
11	1.250	71%
12	1.302	-72%
13	1.564	67%
14	1.770	-63%
15	1.824	61%
16	1.928	-62%
17	2.090	61%
18	2.300	-58%
19	2.350	57%
20	2.460	-57%

Tableau 3 : Détail des caractéristiques des 20 impulsions du ESF

La dernière impulsion présente donc une intensité inférieure, correspondant à 57% de l'intensité de la première impulsion.

Par la suite, afin de pouvoir caractériser le niveau d'intensité des salves produites par l'appareil dans l'espace du bassin, la mesure du champ électrique a systématiquement dû être réalisée sur la première impulsion de la série.

Les autres intensités d'impulsion pourront au besoin être déduites des valeurs présentées dans le Tableau 3.

2.1.2 Caractéristique des impulsions

En améliorant la résolution temporelle de l'analyse, on peut décrire précisément la forme de chaque impulsion produite.

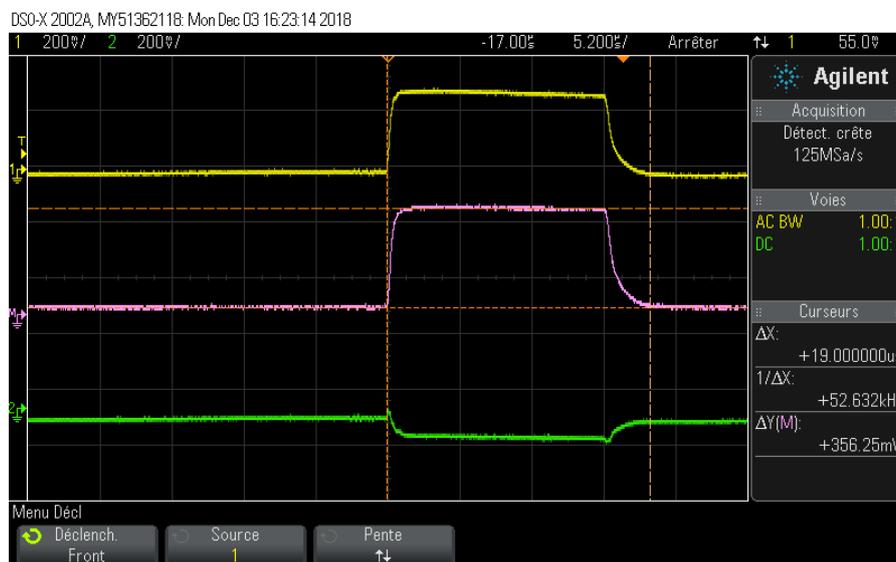


Figure 16 : Forme d'une impulsion du ESF – Courbe rose : différence de potentiel électrique mesuré entre les deux électrodes de la platine (signaux jaunes et verts)

Les impulsions du ESF présentent une largeur totale de 19 μ s.

La forme d'une impulsion présente :

- Une montée rapide de 1.5 μ s permettant d'atteindre le plateau ;
- Un plateau horizontal de 13 μ s de longueur ;
- Une descente plus lente de 3 μ s.

2.1.3 Mesure spatiale du champ électrique

Afin de caractériser l'intensité du champ électrique d'une salve d'impulsion, il a été choisi de mesurer l'intensité de la première impulsion (la plus énergétique).

Les intensités des autres impulsions pourront être déduites de cette mesure à l'aide du Tableau 3.

Afin de valider les opérations de mesure et la reproductibilité de la démarche expérimentale, le champ électrique du E-SHARKFORCE a été mesuré sur 3 séries de mesures différentes.

L'intensité de l'impulsion électrique a été mesurée à une distance du centre l'appareil variant de 0.3 à 1.7m, et avec des incréments de 10 à 25cm pour les directions $\theta=0^\circ$ et 90° .

Les autres valeurs de θ ont également été explorées lors d'une des trois séries de mesure, afin de pouvoir représenter le champ dans l'espace autour de l'appareil.

CHAMP ELECTRIQUE MESURE SUR DIFFERENTS APPAREILS ESHARKFORCE

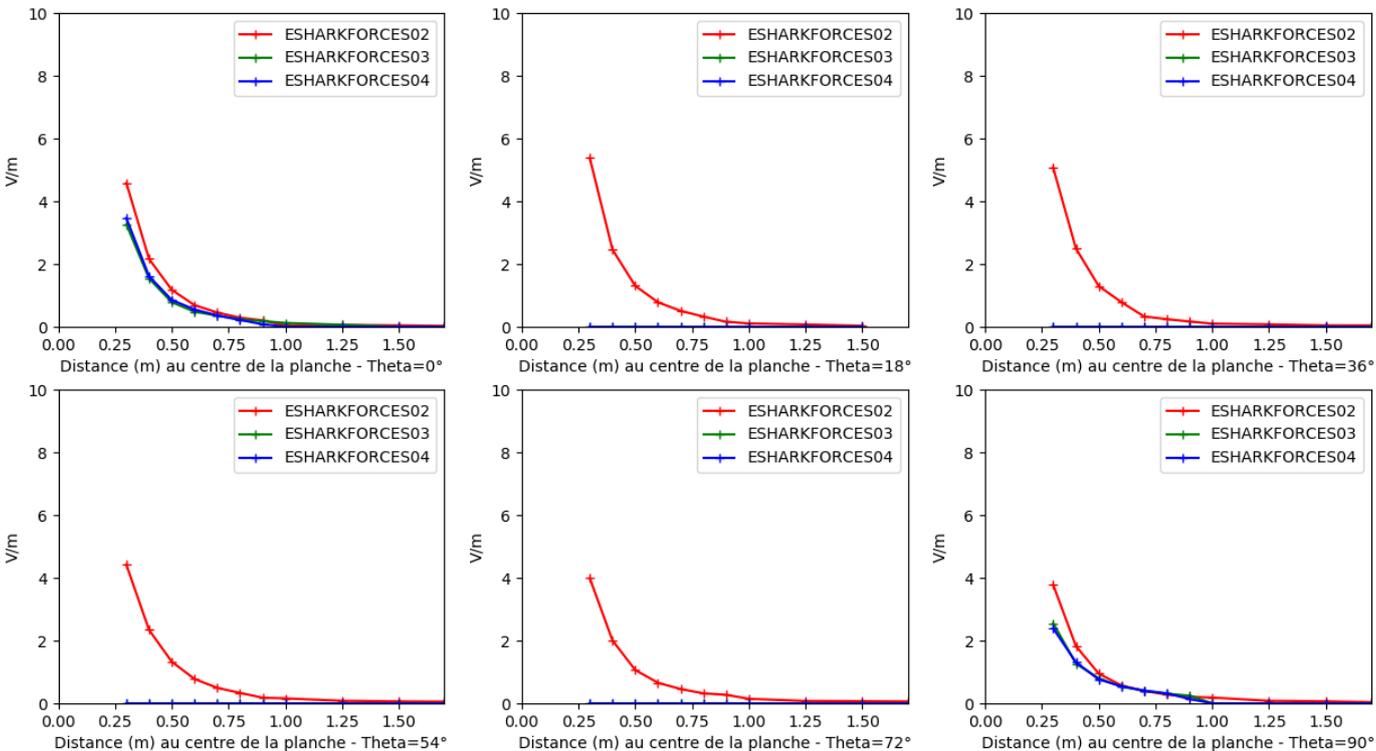


Figure 17 : Champ électrique mesuré dans le plan horizontal du E-SHARKFORCE (Théta de 0° à 90°)

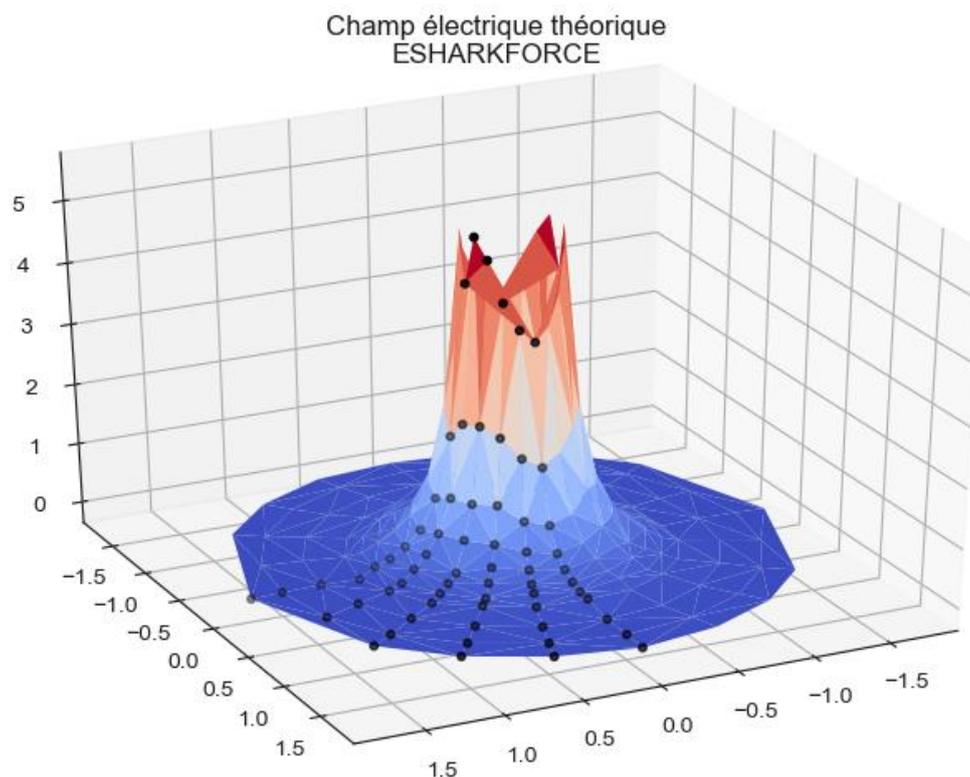


Figure 18 : Représentation 3D champ électrique mesuré sur le E-SHARKFORCE dans le plan horizontal - Point noirs : points de mesure réalisés.

Les résultats obtenus sur les séries de mesure n°3 et n°4 sont parfaitement identiques.

La série n°2 est cohérente dans le champ lointain avec les deux autres séries, et très légèrement majorante dans le champ proche



2.2 NOSHARK

2.2.1 Description temporelle du signal

Le NoShark émet un champ électrique suivant une séquence temporelle organisée en « salves d'impulsions ». La périodicité globale du cycle s'étale sur 4.68s.

Sur chaque cycle complet, l'appareil émet selon les deux séquences suivantes :

- 1 séquence d'émission 17 impulsions pendant 2.33 s ;
- 1 séquence de repos de 2.35 s.

Au bout de 4.68s, le cycle reprend. Lors de la séquence d'émission, 17 impulsions sont émises avec une polarité alternative (les impulsions sont alternativement positives et négatives).

L'intensité des impulsions est décroissante en valeur absolue.

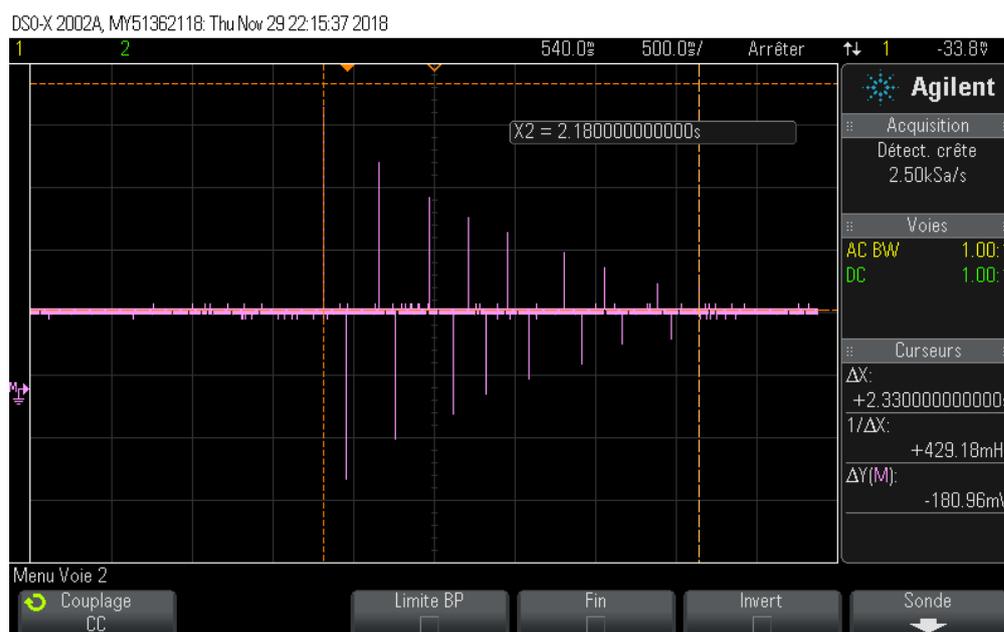


Figure 19 : séquence des 17 impulsions du NoShark d'intensité alternative et décroissante (en valeur absolue)

La dernière impulsion présente une intensité très faible : 14% par rapport à la première de la série.

Impulsion n°	Temps (s) / première impulsion	Voltage % / première impulsion
1	0	100%
2	0.14	-83%
3	0.35	73%
4	0.45	-63%
5	0.66	56%
6	0.81	-50%
7	0.9	46%
8	1.01	-40%
9	1.14	38%
10	1.27	-34%
11	1.49	29%
12	1.61	-26%
13	1.75	21%
14	1.86	-17%
15	2.07	14%
16	2.16	-14%
17	2.33	14%

Tableau 4 : Détail des caractéristiques des 17 impulsions du NoShark

2.2.2 Caractéristiques des impulsions

En améliorant la résolution temporelle de l'analyse, on peut décrire précisément la forme de chaque impulsion produite.



Figure 20 : Forme d'une impulsion du NoShark – Courbe rose : signal du champ électrique mesuré entre les deux électrodes de la platine (signaux jaunes et verts)

Les impulsions du NoShark présentent une largeur de 164µs. La montée ainsi que la chute sont bien nettes, et le plateau est légèrement décroissant.

2.2.3 Mesure spatiale du champ électrique

Afin de caractériser l'intensité du champ électrique d'une salve d'impulsion, il a été choisi de mesurer l'intensité de la première impulsion (la plus énergétique). Les intensités des autres impulsions pourront être déduites de cette mesure à l'aide du Tableau 4.

Afin de fiabiliser les opérations de mesure et la reproductibilité de la démarche expérimentale, le champ électrique du NoShark a été mesuré sur 3 séries de mesures différentes. L'intensité de l'impulsion électrique a été mesurée à une distance du centre l'appareil variant de 0.3 à 1.7m, et avec des incréments de 10 à 25cm pour les directions $\theta=0^\circ$ et 90° .

Les autres valeurs de θ ont également été explorées lors d'une des trois séries de mesure, afin de pouvoir représenter le champ dans l'espace autour de l'appareil.

CHAMP ELECTRIQUE MESURE SUR DIFFERENTS APPAREILS
NOSHARK

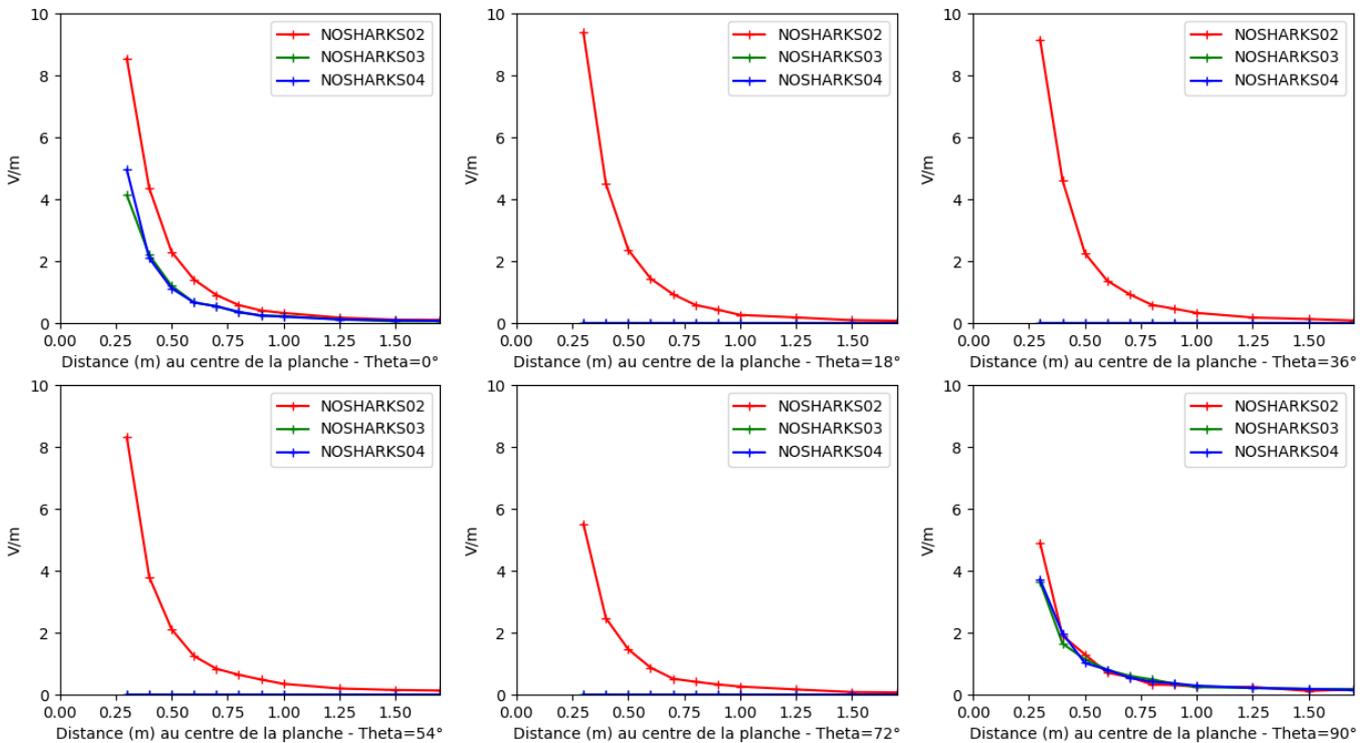


Figure 21 : Champ électrique mesuré dans le plan horizontal du NoShark (Théta de 0° à 90°)

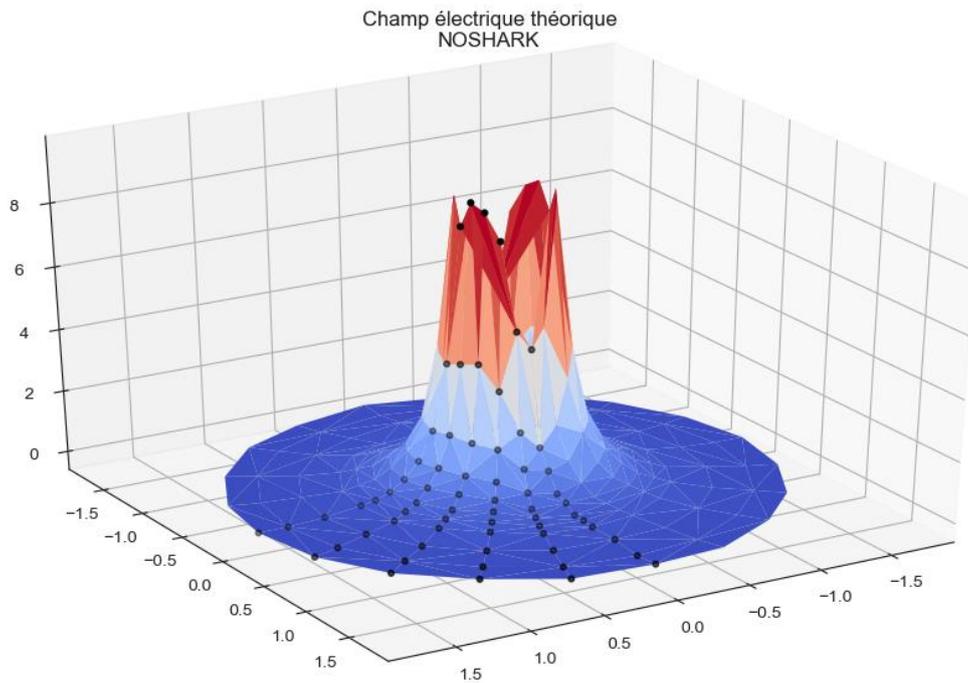


Figure 22 : Représentation 3D champ électrique mesuré sur le NoShark dans le plan horizontal – Point noirs : points de mesure réalisés.

Les séries n°2, 3 et 4 sont en cohérence. Seule la série n°2, dans l'axe des électrodes ($\theta=0$), est légèrement majorante dans le champ proche ($d<1\text{ m}$)



2.3 OCEAN GUARDIAN – FREEDOM+SURF

2.3.1 Description temporelle du signal

Le FREEDOM + SURF émet un champ des impulsions électriques dans l'eau suivant une fréquence de 1.5Hz, soit une impulsion toutes les 666ms.

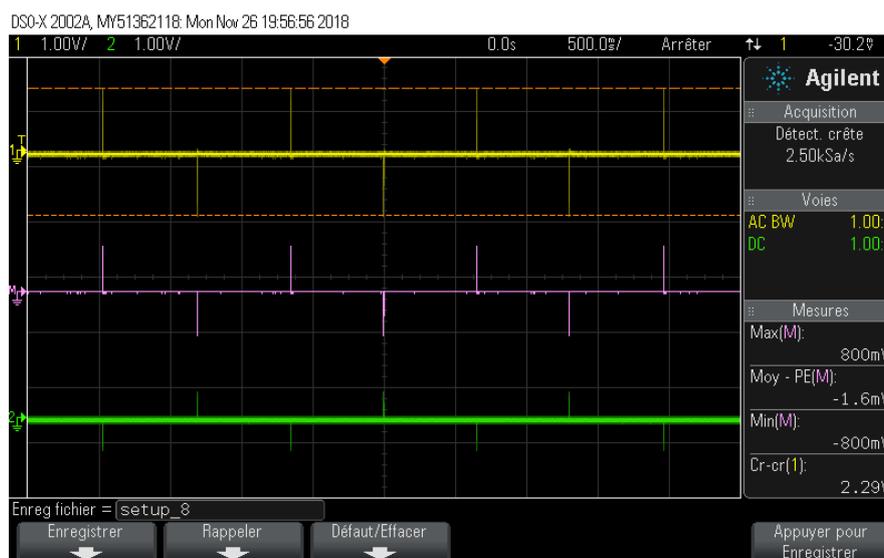


Figure 23 : Aperçu général du cycle d'émission périodique du SHARKSHIELD – FREEDOM + SURF – Courbe rose : signal du champ électrique mesuré entre les deux électrodes de la platine (signaux jaunes et verts)

La polarité des impulsions est alternative (changement de polarité à chaque impulsion), mais l'intensité des impulsions est constante en valeur absolue.

2.3.2 Caractéristique des impulsions

En améliorant la résolution temporelle de l'analyse, on peut décrire précisément la forme de chaque impulsion produite.



Figure 24 : Forme d'une impulsion du SHARKSHIELD – FREEDOM + SURF – Courbe rose : signal du champ électrique mesuré entre les deux électrodes de la platine (signaux jaunes et verts)

Les impulsions du SHARKSHIELD FREEDOM + SURF présente les caractéristiques suivantes :

- Une montée rapide en charge pour atteindre le maximum en début d'impulsion ;
- Une courbe de type logarithmique décroissante ;
- La durée totale de chaque impulsion est de 925 μ s (5% de la charge maximale)

L'intensité max est maintenue pendant 107 μ s (90% de la charge maximale).

2.3.3 Mesure spatiale du champ électrique

Afin de fiabiliser les opérations de mesure et la reproductibilité de la démarche expérimentale, le champ électrique du SHARKSHIELD / FREEDOM + SURF a été mesuré sur 4 séries de mesures différentes. L'intensité de l'impulsion électrique a été mesurée à une distance du centre l'appareil variant de 0.3 à 1.7m, et avec des incréments de 10 à 25cm pour les directions $\theta=0^\circ$ et 90° (les autres valeurs de θ ont également été explorées lors d'une des trois sessions de mesure, afin de pouvoir représenter le champ dans l'espace autour de l'appareil.

CHAMP ELECTRIQUE MESURE SUR DIFFERENTS APPAREILS SHARKSHIELD

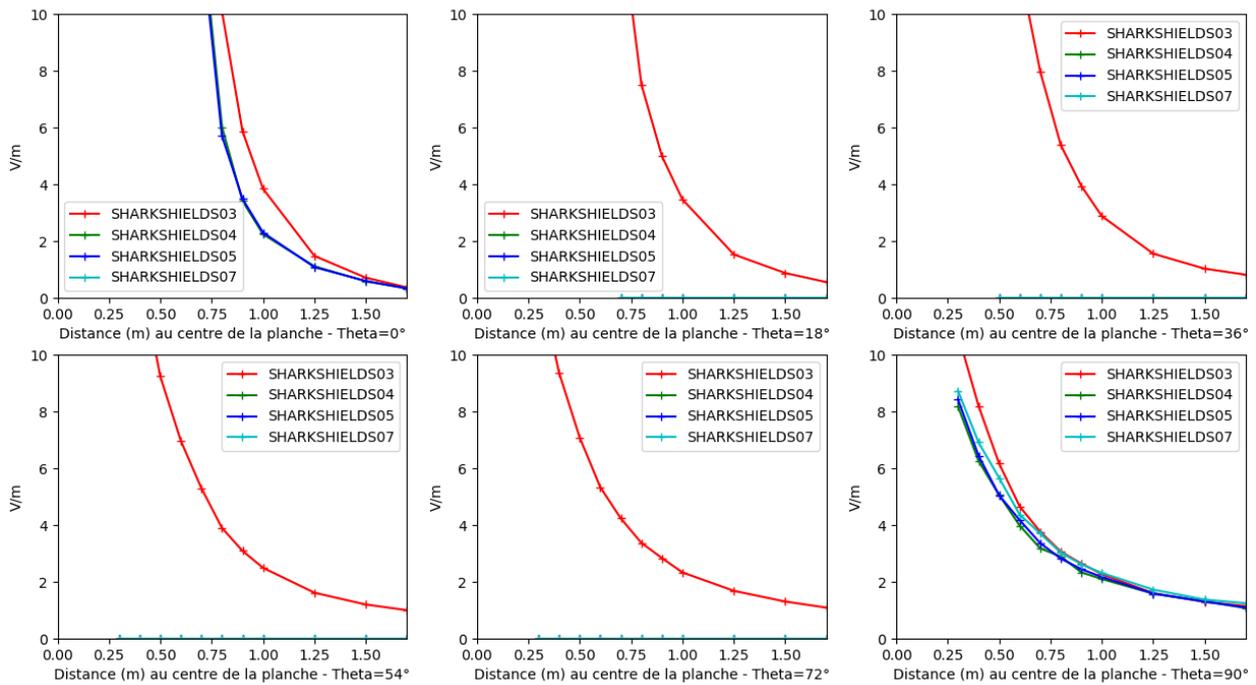


Figure 25 : Champ électrique mesuré dans le plan horizontal du SHARKSHIELD – FREEDOM + SURF (Théta de 0° à 90°)

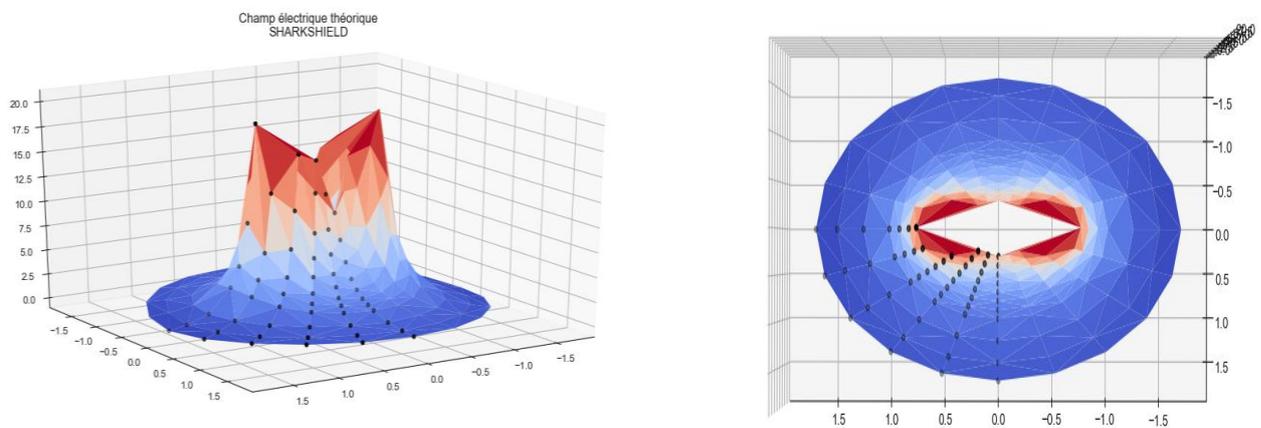


Figure 26 : Représentation 3D champ électrique mesuré sur le SHARKSHIELD – FREEDOM + SURF dans le plan horizontal – Point noirs : points de mesure réalisés.



2.4 RPELA

2.4.1 Description temporelle du signal

Le RPELA émet un champ électrique pulsé dans l'eau avec une fréquence constante.

Cette fréquence est cependant dépendante des différentes versions des appareils testés lors de cette étude.

- RPELA V1 (version 2018) : 10 Hz, soit une impulsion toutes les 100ms ;
- RPELA V1 (version 2019) : 14.7Hz, soit une impulsion toutes les 68 ms ;
- RPELA V2 (version 2019): 13.9 Hz, soit une impulsion toutes les 72 ms.

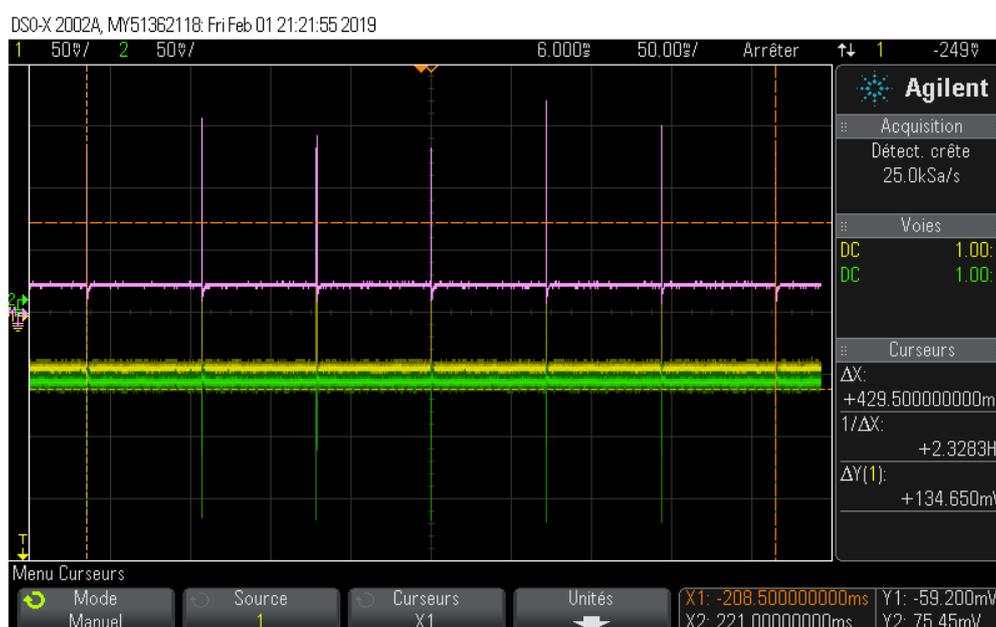


Figure 27 : Aperçu général du cycle d'émission périodique du RPELA_V2 – Courbe rose : signal du champ électrique mesuré entre les deux électrodes de la platine (signaux jaunes et verts)

La polarité des impulsions n'est pas alternative comme pour les autres appareils.

La polarité des électrodes reste inchangée pendant les tests. La charge reste constante.

2.4.2 Caractéristiques des impulsions

En améliorant la résolution temporelle de l'analyse, on peut décrire précisément la forme de chaque impulsion produite. Les impulsions du RPELA_V1 présentent les caractéristiques suivantes :

- Une montée rapide en charge pour atteindre le maximum en début d'impulsion ;
- Une pente légèrement décroissante ;
- La durée totale de chaque impulsion est de 92 μ s.

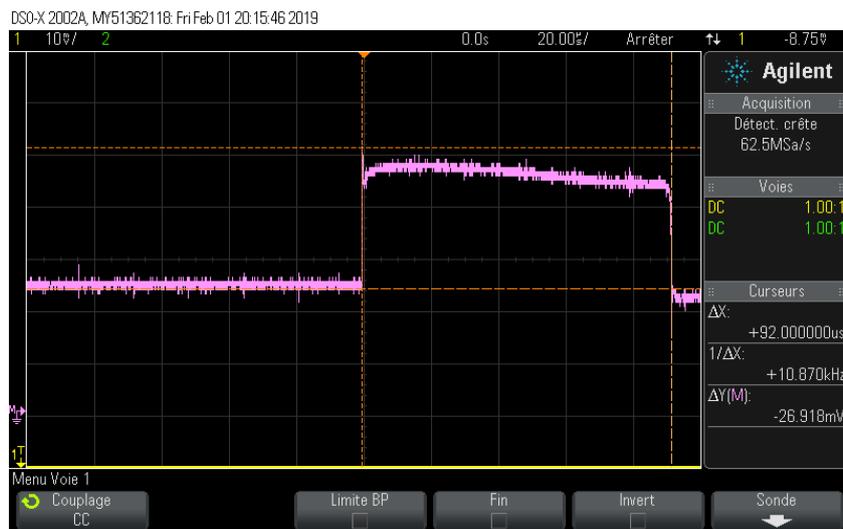


Figure 28 : Forme d'une impulsion du RPELA_V1 – Courbe rose : potentiel électrique mesuré entre les deux électrodes de la platine (signaux jaunes et verts)

Les impulsions du RPELA_V2 présentent les caractéristiques suivantes :

- Une montée rapide en charge pour atteindre le maximum en début d'impulsion ;
- Une courbe de type logarithmique décroissante ;
- La durée totale de chaque impulsion est de 193 μ s ;
- L'intensité max est maintenue pendant 11 μ s (90% de la charge maximale).

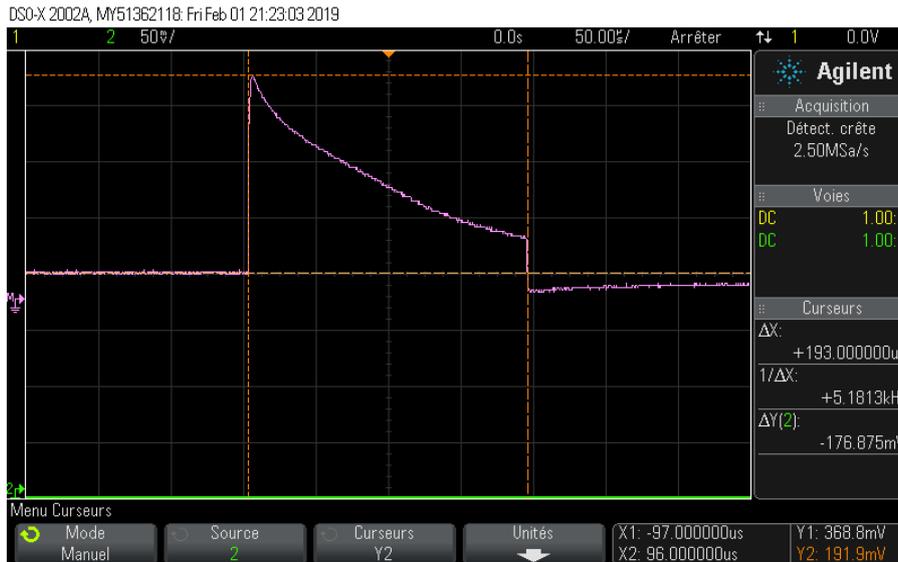


Figure 29 : Forme d'une impulsion du RPELA_V2 – Courbe rose : potentiel électrique mesuré entre les deux électrodes de la platine (signaux jaunes et verts)

2.4.3 Mesure spatiale du champ électrique

L'objectif est ici de mesurer spatialement le champ électrique autour de l'appareil.

Il convient ici de noter que le premier appareil RPELA-V1, acheté en 2018 pour les besoins de l'expérimentation, a montré des problèmes de fiabilité qui n'ont pas permis de caractériser correctement la répartition spatiale temporelle de son signal.

En février 2019, lors d'un passage sur l'île de La Réunion, Monsieur Dave Smith a pu mettre à disposition du CRA deux appareils RPELA-V1 et RPELA-V2. Ces deux appareils ont pu être testés dans le bassin d'essai du CRA, en sa présence.

Pour autant, contrairement aux autres appareils de l'expérimentation, seule une série de mesure a pu être réalisée pour chaque appareil, ne permettant pas de caractériser la variabilité de la mesure du champ produit par ces appareils.

Pour chaque appareil RPELA-V1 et RPELA-V2, l'intensité de l'impulsion électrique a été mesurée à une distance du centre des électrodes variant de 0.3 à 1.7m, et avec des incréments de 10 à 25cm pour les directions $\theta=0^\circ, 18^\circ, 36^\circ, 54^\circ, 72^\circ$ et 90° .

CHAMP ELECTRIQUE MESURE SUR DIFFERENTS APPAREILS
COMPARAISON RPELA RPELAV2

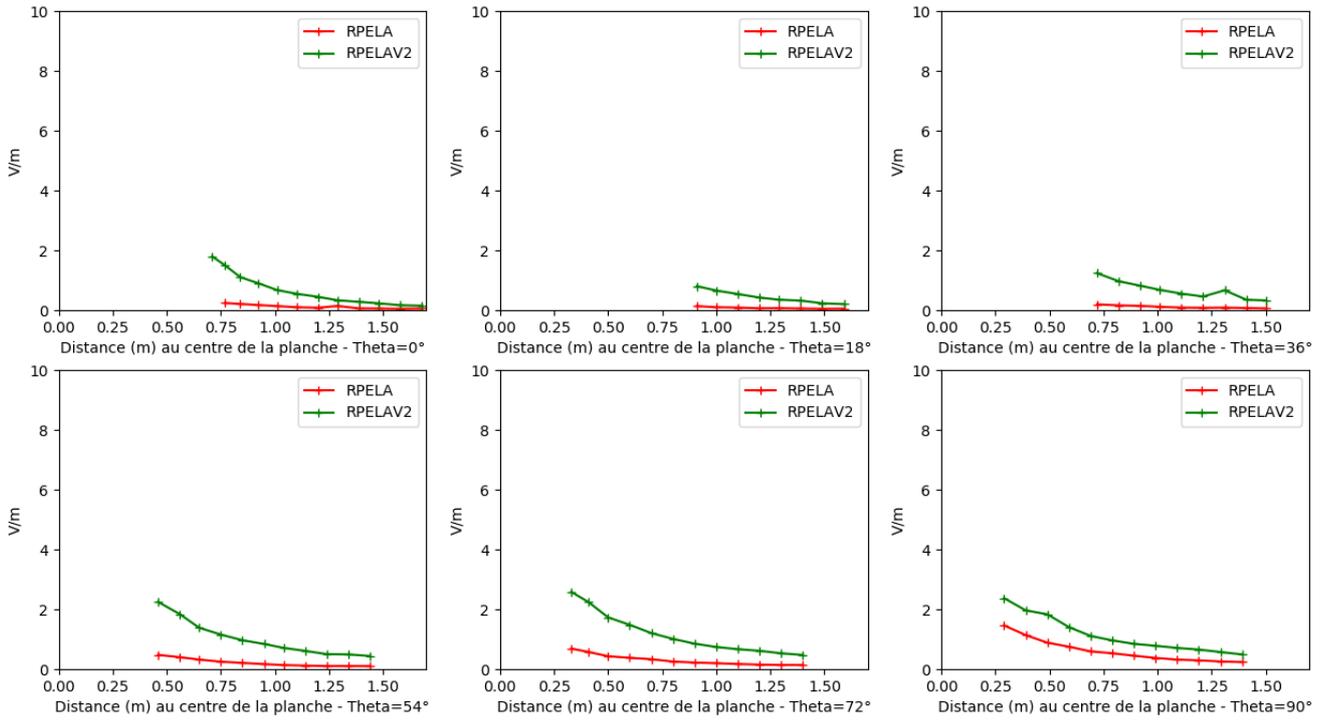


Figure 30 : Champ électrique mesuré dans le plan horizontal du RPELA Version 1 (RPELA) et Version 2 (RPELAV2) (Théta de 0° à 90°)

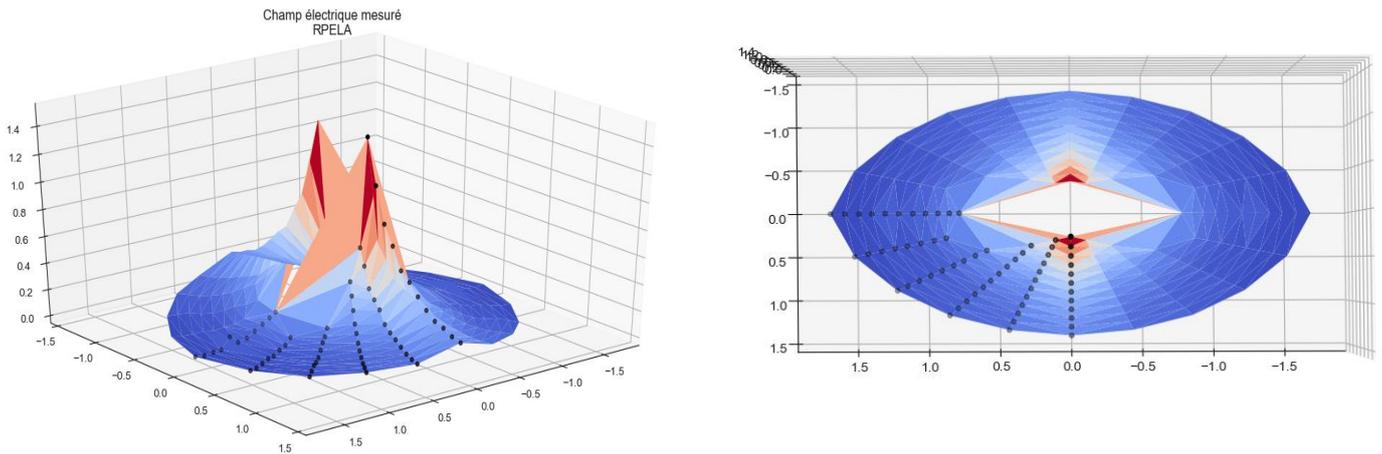


Figure 31 : Représentation 3D champ électrique mesuré sur le RPELAV1 dans le plan horizontal – Point noirs : points de mesure réalisés.

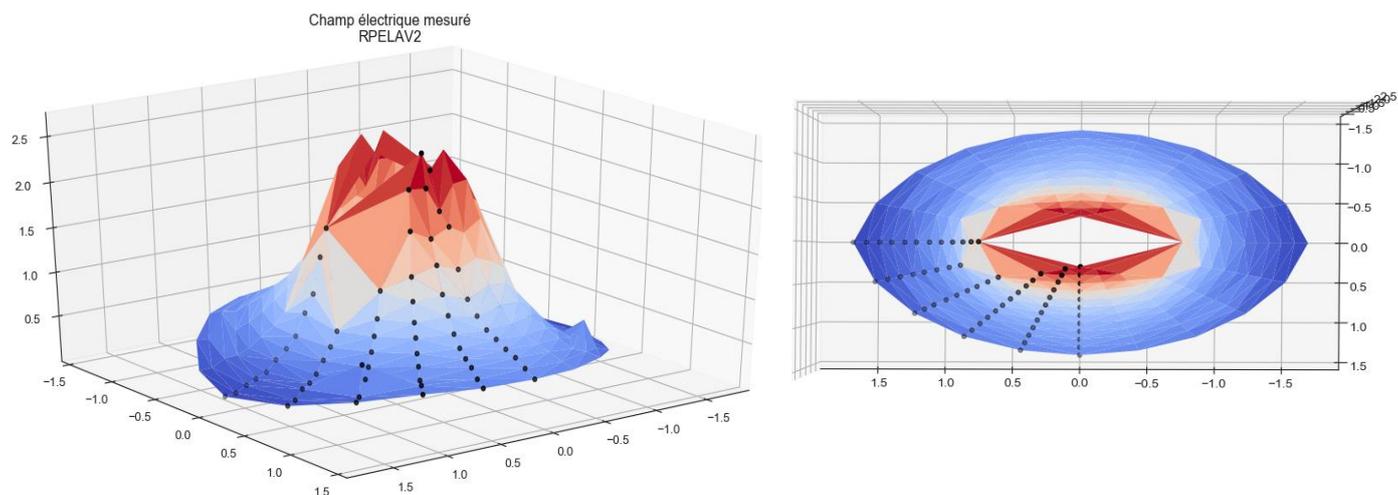


Figure 32 : Représentation 3D champ électrique mesuré sur le RPELAV2 dans le plan horizontal – Point noirs : points de mesure réalisés.

Les résultats montrent une évolution clairement distinguable entre les deux versions de l'appareil RPELA. L'augmentation de l'intensité des impulsions est constatée dans toutes les directions du domaine de mesure.



3 ANALYSE COMPARATIVE DES EPI



Les EPI peuvent être comparés et analysés de deux manières :

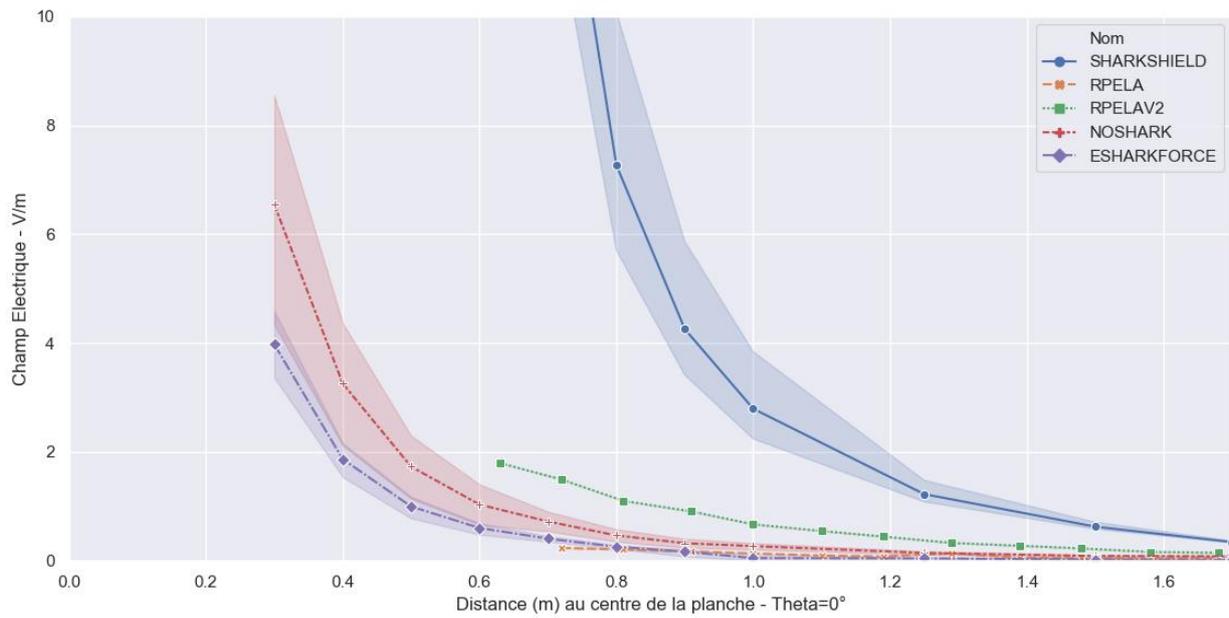
- D'un point de vue **spatial** en comparant le potentiel du champ maximum créé par chaque appareil lors d'une impulsion. Cette analyse spatiale consiste à comparer l'intensité maximale des impulsions électriques générées par chaque appareil, en plusieurs points de l'espace autour du centre des deux électrodes, et dans le plan horizontal.
- D'un point de vue **temporel** en analysant la série temporelle générée par chacun des appareils. Cette analyse permet de comparer l'évolution des impulsions au cours du temps et d'analyser la dynamique de la protection.

3.1 COMPARAISON SPATIALE

Pour le NoShark et le E-SharkForce, l'impulsion retenue pour la comparaison spatiale sera la plus énergétique, c'est-à-dire la première des salves d'impulsions décrites dans les chapitres 2.1 et 2.2. Pour le Rpela et le Sharkshield, les impulsions sont d'intensité constantes dans le temps.

La Figure 31 page suivante permet une comparaison de l'intensité des impulsions des différents appareils dans les deux axes (perpendiculaires et longitudinal) par rapport à l'axe des électrodes. Pour le Rpela et le SharkShield, cet axe correspond à l'axe de la planche de surf.

COMPARAISON DES EPI DANS L'AXE DE LA PLANCHE



COMPARAISON DES EPI PERPENDICULAIREMENT A LA PLANCHE

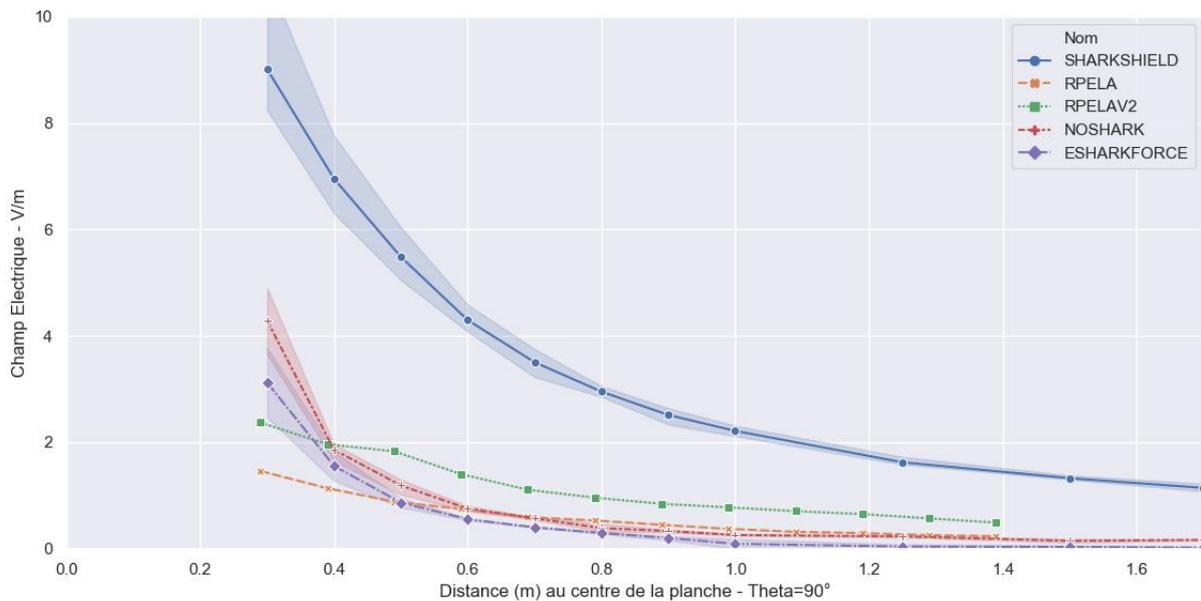


Figure 33 : Comparaison de l'intensité du champ électrique de différents EPI dans l'axe (en haut) et perpendiculairement (en bas) des électrodes (cad perpendiculairement à la planche pour RPELA et SHARKSHIELD) – Courbe moyenne (trait de couleur) et plage d'incertitude des résultats (surfaces colorées)



3.2 COMPARAISON TEMPORELLE

L'analyse temporelle propose de comparer l'évolution dans le temps du champ électrique généré par 3 appareils à 1 m de distance du centre des électrodes, pour $\theta=90^\circ$ (perpendiculaire à la planche pour le Rpela et le SharkShield).

Le E-SharkForce ne générant aucun champ électrique détectable à cette distance, il n'a pas été inclus dans l'analyse comparative.

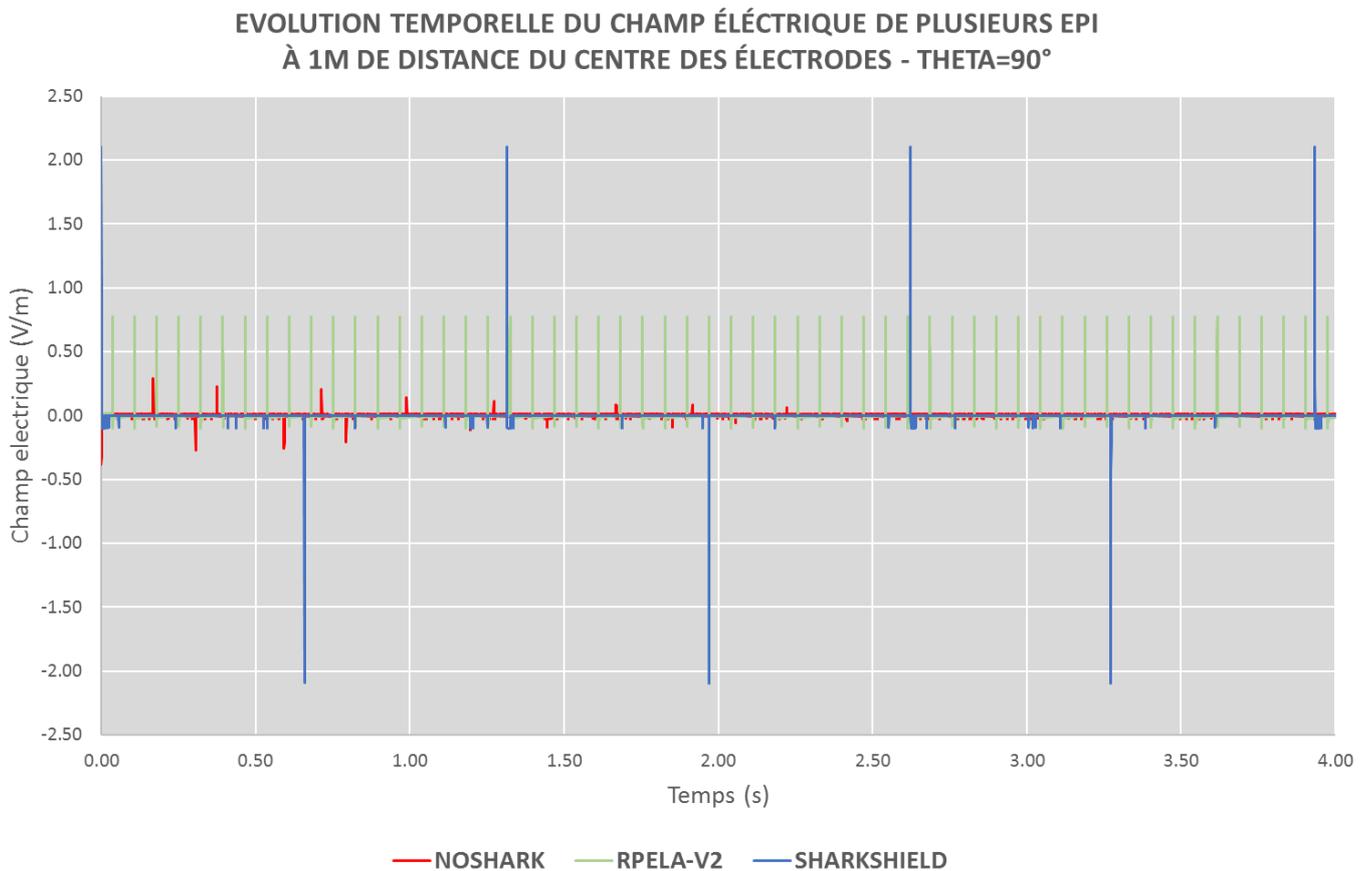


Figure 34 : Evolution temporelle du champ électrique de plusieurs EPI à 1 m de distance du centre des électrodes - $\theta=90^\circ$



3.3 DISCUSSION

L'analyse des Figure 31 et Figure 32 montre des stratégies très différentes entre les appareils :

- Le SharkShield semble clairement être l'appareil qui émet les impulsions électriques les plus énergétiques. A 1m du centre des électrodes, les impulsions des autres EPI atteignent seulement 36% (RPela) et 18 % (NoShark) de l'intensité des impulsions du SharkShield.
- En termes de distances, on peut considérer également que pour retrouver l'intensité du champ électrique produit par le SharkShield à 1m de distance ($\theta=90^\circ$), il faut s'approcher à environ 0.4m du centre des électrodes pour les autres appareils (Rpela, NoShark, E-SharkForce)
- En revanche, la fréquence d'émission des impulsions est la plus élevée pour le RPela-V2 : environ 14Hz, soit une impulsion toutes les 68ms. Le SharkShield émet des impulsions beaucoup plus espacées dans le temps : toutes les 666ms, soit environ 10 fois moins souvent que le RPela-V2. Le NoShark présente une stratégie intermédiaire : il émet des impulsions toutes les 150ms pendant 2.33s, mais plus rien pendant 2.35s avant de redémarrer un cycle.

Les différents EPI présentent donc tous des « temps morts » plus ou moins longs pendant lesquels il n'y a pas de champ électrique dans l'eau entre les impulsions.

Si on considère ces « temps morts » comme des intervalles temporels de vulnérabilité du porteur de l'EPI, on peut calculer la vitesse limite de l'animal en approche que chaque appareil est potentiellement capable de dissuader.

Pour cela, on considère que le requin qui se déplace à une vitesse donnée devra percevoir au minimum une impulsion électrique dans le dernier mètre avant l'interaction avec le porteur de l'EPI. Le calcul donne pour le SharkShield une vitesse de déplacement maximale de 1.5m/s ; pour le RPela-V2 15m/s; pour le E-SharkForce, 0.6m/s et pour le NoShark 0.4m/s. Au-dessus de cette vitesse, le requin en approche peut potentiellement parcourir le dernier mètre sans percevoir d'impulsion électrique. A l'exception du RPela-V2, ces vitesses sont toutes inférieures à une vitesse de requin en charge (environ 5m/s pour le requin bouledogue)

Cette analyse pose donc la question du mode de prédation potentielle des requins bouledogue ou tigre sur des usagers de la mer (baigneur, surfeur, plongeur, etc.) et de la dynamique de l'attaque : à quelle vitesse le requin s'approche-t-il de sa proie lors d'une attaque ? Et dans quelles limites les appareils EPI peuvent-ils rester efficaces en cas d'attaque rapide ?

Concernant ce sujet, l'analyse bibliographique nous indique les éléments suivants :

- L'expérience de Huveneers (2013) a été construite de façon à déclencher des charges rapides (breaching) de requins blancs sur un leurre en mouvement tracté derrière un bateau. Malgré la grande vitesse de charge des requins blancs et la distance importante entre le leurre et l'EPI (2.3m), cette expérience a montré un très bon taux d'efficacité de l'appareil testé (SharkShield Freedom). L'auteur explique cette situation en considérant le coût énergétique

que peut constituer une telle charge pour un requin blanc, celle-ci étant indispensable pour appréhender la proie compte tenu de sa vitesse de déplacement. Considérant ce coût énergétique important, il serait très facile de dissuader un tel prédateur au moment du choix du déclenchement de la charge, ou en cours de son exécution. L'auteur indique avoir constaté des abandons brusques de charge à très faible distance du leurre, malgré une grande vitesse d'exécution.

- Kempster (2016) pose également l'hypothèse d'une perception du signal électrique à une distance plus importante que la distance de répulsion effectivement constatée (0.8m). Son expérience a en effet montré une forte diminution du nombre d'individus présents dans un rayon de 3m autour d'un appareil SharkShield, lorsque celui-ci était allumé. Cette hypothèse d'une capacité de perception du champ électrique à une plus grande distance (>3m), pourrait également permettre d'expliquer l'efficacité du SharkShield à dissuader une charge (démontrée par Huveneers en 2013) à grande distance malgré une fréquence d'émission de l'appareil relativement faible vis-à-vis de la vitesse de l'animal.
- A contrario, lors de l'expérience de Kempster (2016), les appâts utilisés sont accrochés à une tige fixe positionnée dans la colonne d'eau. L'approche des requins blancs se réalise plutôt sous un mode exploratoire, plusieurs passages étant d'ailleurs nécessaires avant qu'une potentielle interaction intervienne. En effet, 4 passages à une distance inférieure à 1.3m de l'appât sont nécessaires avant qu'une potentielle interaction ne se produise (25% de probabilité lorsque l'appareil est allumé).

Ces éléments amènent à penser que sur une cible immobile ou lente, l'approche du requin est potentiellement exploratoire et lente car rien ne justifie une approche rapide énergivore.

Dans les deux cas (approche exploratoire ou charge rapide), le SharkShield a pu démontrer sa capacité à diminuer le nombre d'interactions. On peut donc considérer que la stratégie retenue, qui peut se résumer par un couple [fréquence faible mais grande puissance d'émission] a montré ses preuves.

La stratégie des autres appareils peut être analysée de la façon suivante :

- Le RPLEA-V2 propose une haute fréquence d'émission (10 fois plus grande que le SharkShield), mais une puissance nettement inférieure au SharkShield (36%). Le choix d'une haute fréquence est conservateur mais il se réalise peut-être au détriment de la puissance des impulsions. Selon la dernière étude menée par le cabinet privé Cardno financé par RPELA, cette stratégie a semble-t-il fait la preuve de son efficacité pour diminuer la probabilité d'une interaction. Le protocole expérimental était cependant dimensionné pour générer des approches exploratoires et non pas rapides.
- Les appareils NoShark et E-Shark force proposent une stratégie particulière d'émission d'impulsion par « salves », suivies d'une période d'inactivité qui peut durer respectivement 2.3s et 1.7s pour ces deux appareils. Cette durée d'inactivité peut paraître importante, un requin nageant à une vitesse de 0.4 à 0.6m/s ayant théoriquement le temps de parcourir le dernier mètre sans être gêné par l'émission d'une impulsion électrique.

4 SYNTHÈSE



Dans l'inventaire des solutions existantes pour réduire le risque requin, la solution des équipements de protection individuels connaît actuellement un essor avec plusieurs opérateurs industriels qui investissent le sujet à l'international.

Autrefois réservé à un opérateur historique et unique (le SharkShield, initialement développé pour les plongeurs et chasseurs sous-marin sous le nom de Shark Pod), plusieurs opérateurs proposent aujourd'hui des appareils de protection dont les stratégies de design, de protection, et de cible de marché peuvent être différentes.

Les EPI qui ont fait l'objet de cette étude regroupent les équipements qui émettent un champ électrique dans l'eau, sous forme d'impulsions. 4 appareils ont fait l'objet de cette étude qui s'est réalisée en plusieurs phases.

PHASE 1 : UNE REVUE BIBLIOGRAPHIQUE DES TESTS INDEPENDANTS REALISES SUR LES EPI DU MARCHE CONCERNANT LEUR EFFICACITE DE REPULSION SUR LES REQUINS.

Cette revue a été réalisée et restituée auprès des usagers de la mer lors de 3 réunions publiques tenues à Saint Gilles, Saint Leu et Saint Pierre. En substance et en résumé, les éléments bibliographiques indiquent que le SharkShield FREEDOM a démontré une réelle efficacité sur le requin blanc, même si l'appareil n'est pas efficace à 100%. En effet, le taux d'interaction avec des appâts diminue de 81% à 11% lorsque l'appareil est activé. Les études indiquent par ailleurs que même si l'effet répulsif est démontré, la distance de répulsion reste faible : entre 80cm et 1m.

En 2018, pour la première fois, une étude a permis de comparer et tester plusieurs appareils dans des conditions identiques et contrôlées (notamment FREEDOM+ SURF et RPELA-V1). Cette étude a permis de confirmer l'effet répulsif du SharkShield dans sa version FREEDOM+ SURF adaptée aux surfeurs. En revanche, cette étude indique qu'aucun effet n'a pu être mesuré sur le nombre d'interactions et de morsure de l'appât en présence du RPELA-V1. Cette information est importante à intégrer pour les détenteurs de cet appareil à La Réunion.

En fin d'année 2018, la société RPELA a lancé une deuxième version de son appareil, et a mandaté un cabinet privé pour évaluer son nouvel EPI, le RPELA-V2. Cette étude, sortie en décembre 2018, semble démontrer cette fois la présence d'un effet mesurable et quantifiable de la diminution du nombre d'interactions en présence de l'appareil activé (la probabilité de morsure de l'appât diminuant de 75% à 25% lorsque l'appareil est activé).

Enfin, il convient de rappeler qu'à ce jour, aucune attaque de requin dans le monde n'a été recensée sur une personne équipée d'un dispositif EPI à champ électrique pulsé, même si cette remarque doit être pondérée compte tenue de la faible représentation statistique des personnes équipées d'EPI au regard du nombre d'attaques dans le monde.

PHASE 2 : LA REALISATION DE TESTS IN-SITU POUR ANALYSER ET COMPARER LA STRUCTURE DES CHAMPS ELECTRIQUES GENERES PAR LES APPAREILS (OBJET DU PRESENT RAPPORT).

Les résultats de ces tests permettent de montrer l'existence de stratégies très différentes entre les appareils pour repousser les requins. Les principales conclusions permettent de confirmer la prédominance de l'appareil SharkShield en termes de puissance des impulsions électriques : à 1m du centre des électrodes, les impulsions des autres EPI correspondent à 36% (RPela) et 18 % (NoShark) de l'intensité des impulsions du SharkShield. En d'autres termes, pour retrouver la même intensité de champ électrique produite par le SharkShield à 1m de distance ($\Theta=90^\circ$), il faut s'approcher à environ 0.4m du centre des électrodes pour les autres appareils (Rpela, NoShark, E-SharkForce). Ces considérations viennent confirmer les constats réalisés par Huveneers en 2018 concernant une différence notable d'efficacité entre les appareils SharkShield et RPela-V1 sur la répulsion des requins blancs. Les deux autres appareils (NoShark et E-SharkForce) n'ont jamais fait l'objet de tests in vivo sur les requins.

Les tests réalisés en bassin sur les différentes versions des appareils RPELA montrent une évolution notable entre les versions V1 et V2 de cet appareil. Cette constatation est par ailleurs corroborée par les essais positifs réalisés par le cabinet Cardno sur le RPELA-V2 en fin d'année 2018, semblant démontrer une certaine efficacité de cet appareil sur le requin blanc.

Enfin, les tests réalisés au CRA ont permis de constater un certain nombre de problèmes de fiabilité de certains appareils au fonctionnement erratique. Pour bien fonctionner et pouvoir être utilisés dans la durée, ces appareils nécessitent un entretien régulier (rinçage, nettoyage systématique des électrodes, etc.). Malgré cela, des pannes ou dysfonctionnements peuvent survenir. Compte tenu de l'enjeu de sécurité et de l'expérience acquise dans le cadre de cette étude, le CRA pourrait proposer un service de vérification de l'intégrité des dispositifs utilisés par les usagers de la mer à La Réunion.

LES EPI : UN OUTIL SUPPLEMENTAIRE POUR LA REDUCTION DU RISQUE REQUIN A LA REUNION

Depuis 2017, fort du constat d'une efficacité démontrée de façon scientifique et indépendante sur les appareils Ocean Guardian SharkShield (FREEDOM + SURF et FREEDOM), l'Etat du Western Australia a pris la décision politique de subventionner, à titre individuel, l'achat de ces appareils à hauteur de 176€/personne pour les habitants de son Etat. Il s'agit d'une stratégie publique qui permet d'agir sur la réduction du risque requin au niveau de tous les pratiquants équipés, et sur l'ensemble du littoral de l'Etat.

Le principe de ce moyen d'action pour réduire le risque a également été intégré par les pratiquants réunionnais qui se sont massivement équipés de ces appareils ces dernières années, sans pour autant qu'ils aient une bonne visibilité sur le niveau d'efficacité de chacun de ces EPI en termes de répulsion des requins.

Le choix s'est visiblement souvent porté à l'appui de critères secondaires tels que le prix, le poids, l'ergonomie vis-à-vis de la pratique (surf, bodyboard...) ou simplement la différence d'attache (sur l'utilisateur ou sur la planche de l'utilisateur).

Fort de l'analyse des tests réalisés dans le monde, ainsi que des tests réalisés par le CRA, il ressort que :

- **Certains EPI ont clairement démontré leur efficacité de réduction du risque sur les grands requins blancs : le SharkShield de façon certaine**, et le RPELA (uniquement dans sa version V2), dans une moindre mesure (étude non indépendante) ;
- **Ces appareils sont des équipements permettant de réduire le risque requin, un risque résiduel étant cependant toujours présent ;**
- Avec l'augmentation constante de l'efficacité des batteries (solutions mobiles) et des évolutions technologiques actuelles, ces appareils sont amenés à évoluer rapidement vers une protection encore renforcée dans les prochaines années ;
- **Fort de ces constats, cet outil de réduction du risque pourrait être mobilisé sur le territoire réunionnais afin d'agir sur un public élargi d'utilisateurs de la mer**, toujours actuellement fortement exposés au risque requin car pratiquant en dehors des dispositifs ZONEX, **en complément d'autres outils tels que le programme réunionnais de pêche de prévention ;**
- On peut constater qu'à ce jour, les appareils ayant démontré leur efficacité ne sont pas les plus répandus auprès des usagers à La Réunion. Ce levier de réduction du risque doit être activé de façon éclairée, en **communiquant plus largement sur les bonnes pratiques à retenir et sur le choix d'un matériel** adapté, fiable et contrôlé régulièrement.;
- Le fonctionnement erratique constaté de certains appareils fait émerger le besoin de pouvoir faire contrôler, à La Réunion, les appareils achetés par les usagers sur le marché, et de suivre leur évolution dans le temps. Pour aller dans ce sens, le CRA propose de capitaliser sur l'expérience acquise dans le cadre de ce projet, et de **mettre en place un banc d'essai mobile pouvant être déployé en mer** par son équipe nautique, à proximité des zones de surf, afin de fournir une évaluation gratuite des appareils pour les usagers équipés.

- Pour aller plus loin dans la connaissance et la fiabilisation de ces équipements dans le contexte réunionnais, **des tests restent à mener spécifiquement sur le requin bouledogue** afin de quantifier précisément les effets répulsifs des EPI sur cette espèce. Un projet d'expérimentation est prévu, et fait l'objet de la phase 3 du présent projet.

